

О. В. Томилова, А. В. Тверитина

А. А. Вечерина, К. Д. Шабров

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
И ОБОРУДОВАНИЯ**

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики**

**О. В. Томилова, А. В. Тверитина
А. А. Вечерина, К. Д. Шабров**

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2022

УДК 621(075)
ББК 34.5я7
С 561

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного
архитектурно-строительного университета

В. В. Швецова;

кандидат технических наук, профессор Высшей школы технологии и энергетики
Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

А. В. Гаузе

Томилова, О. В.

С 561 Современные методы расчёта технологических машин и оборудования:
учебно-методическое пособие / О. В. Томилова, А. В. Тверитина,
А. А. Вечерина, К. Д. Шабров. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — 153 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Современные методы расчёта технологических машин и оборудования ЦБП» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 – Технологические машины и оборудование. Содержание пособия соответствует современному уровню развития науки в области применения средств автоматизированного проектирования для реализации импортозамещения запчастей, машин и оборудования.

Пособие предназначено для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения. Данное пособие может быть полезно широкому кругу специалистов, которые применяют в своей работе реверс-инжиниринг.

УДК 621(075)
ББК 34.5я7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2022
© Томилова О. В., Тверитина А. В.,
Вечерина А. А., Шабров К. Д., 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Интерфейс программы	5
Работа с полигональной моделью	11
Разбивание на области и выравнивание в осях координат	17
Построение тела отливки с использованием автоповерхности.....	29
Базовые функции работы с эскизом, построение тела вращения	31
Выравнивание базовых плоскостей.....	42
Полигональная модель (сетка). Ремонт (коррекция).....	95
Моделирование стойки смесителя.....	105
Реверс патрубка	128
Работа с трубами. Реверс части даунпайпа VW Sirocco.	143
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	152

ВВЕДЕНИЕ

Реверс-инжиниринг (обратное проектирование, обратный инжиниринг) – процесс разработки конструкторской документации (КД) на основе исходных данных, полученных в виде готового образца изделия. То есть КД не разрабатывается с нуля, а восстанавливается по образцу путём снятия с него размеров и изучения других его параметров.

Задача реверс-инжиниринга – получить комплект технической документации в минимально возможные сроки (по сравнению с новой разработкой), по которой можно будет изготавливать изделия на любом производстве [1].

Снимать измерения можно двумя способами: ручным с помощью измерительных инструментов и с помощью 3D-сканера. Измерение сложных криволинейных поверхностей, как правило, осуществляется с помощью 3D-сканирования. Там, где 3D-сканирование будет трудоёмким процессом, используют ручное снятие размеров.

В пособии освещается процесс снятия размеров с помощью сканирования. В программе Geomagic Design X полигональная модель преобразуется в твердотельную. Это необходимо делать, чтобы разработать конструкторскую документацию.

Пособие содержит 10 уроков по реверс-инжинирингу и проиллюстрировано 250 рисунками. Первый урок посвящён интерфейсу программы. Во втором уроке рассматривается работа с полигональной моделью, её редактирование и исправление недостатков. Третий урок посвящён разбиению модели на области и её выравниванию в осях координат. Четвёртый урок знакомит с автоповерхностями. Базовые функции работы с эскизом и построение тел вращения описаны в пятом уроке. Выравниванию базовых плоскостей посвящён шестой урок. В седьмом уроке продолжается работа с полигональной моделью. Раскрываются методы коррекции полигонов. Работе с криволинейными сложными поверхностями обучает восьмой урок. Девятый и десятый уроки посвящены трубам и их крепёжным элементам. Подробно рассказывается о том, как осуществить реверс патрубка и др. элементов трубы. Таким образом, уроки охватывают весь комплекс знаний, необходимый для реверс-инжиниринга, который представляет особый интерес в области импортозамещения изделий и запчастей.

Пособие отвечает всем требованиям современной подготовки специалистов по направлению обучения 15.03.02 – Технологические машины и оборудование.

ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ

Geomagic Design X создана для реверс-инжиниринга (обратного моделирования) деталей по 3D-сканам.

Первым шагом в освоении программы является освоение её интерфейса.

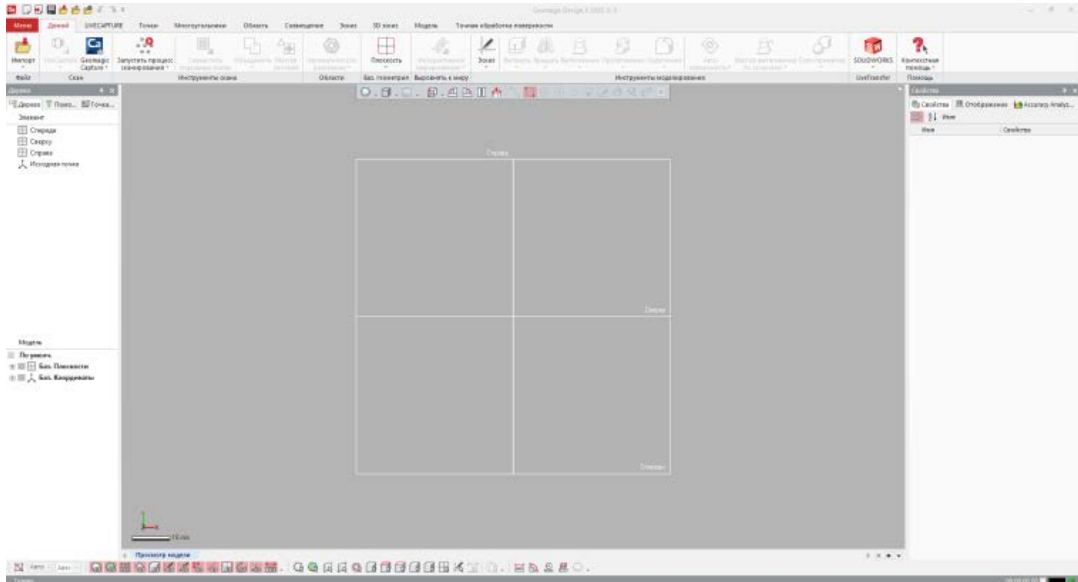


Рис. 1. Интерфейс

Для взаимодействия с объектом в окне программы необходимо использовать мышь и определенные комбинации клавиш для перемещения, вращения, масштабирования, изменения объекта. Подсказка, в которой подробно описаны все комбинации клавиш и их функционал, находится в правой части окна. В правом верхнем углу подсказки находится кнопка в виде треугольника, скрывающая и вызывающая меню подсказки.

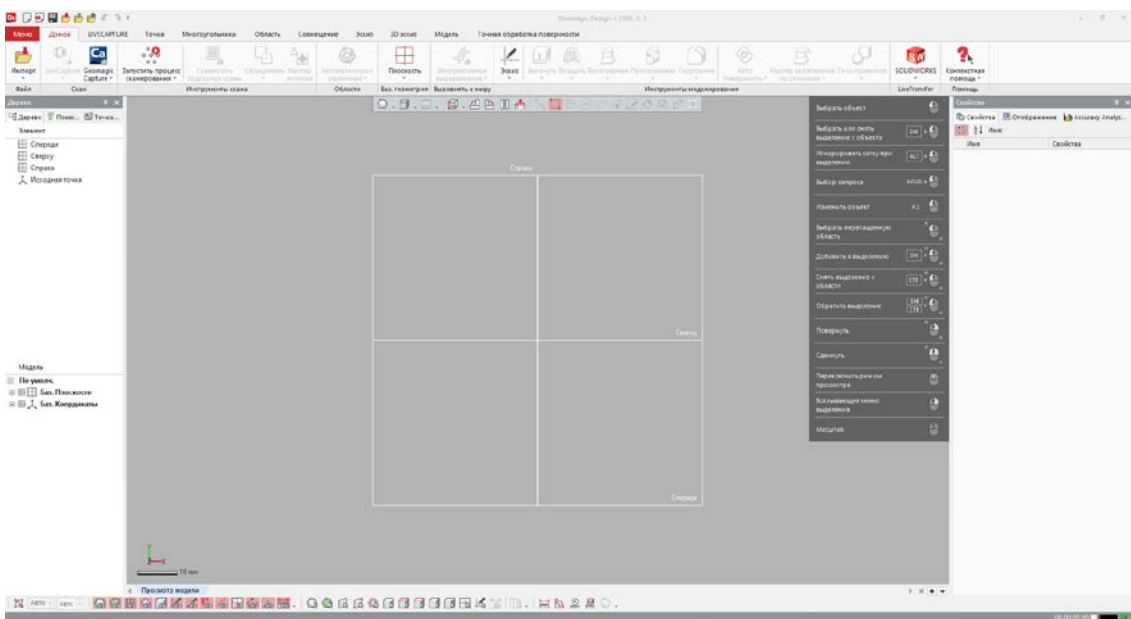


Рис. 2. Меню подсказки

Для настройки комбинаций клавиш «под себя» перейдите во вкладку *Меню / Файл / Глобальные Параметры / Общее / Просмотр*.

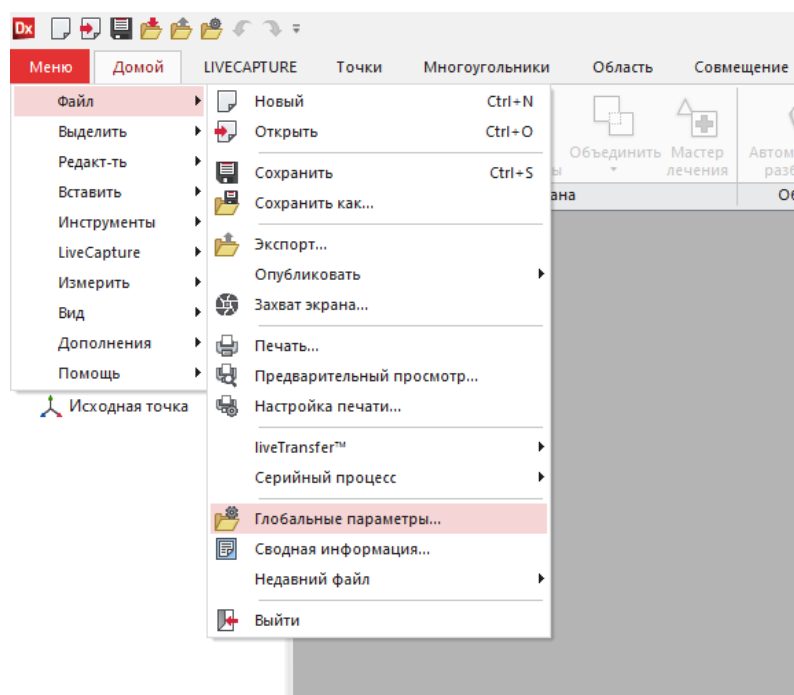


Рис. 3. Глобальные параметры

Все остальные настройки Geomagic Design X находятся во вкладке *Меню / Файл / Глобальные параметры*, либо их же можно вызвать ярлыком в верхней части программы (папка с шестеренкой).

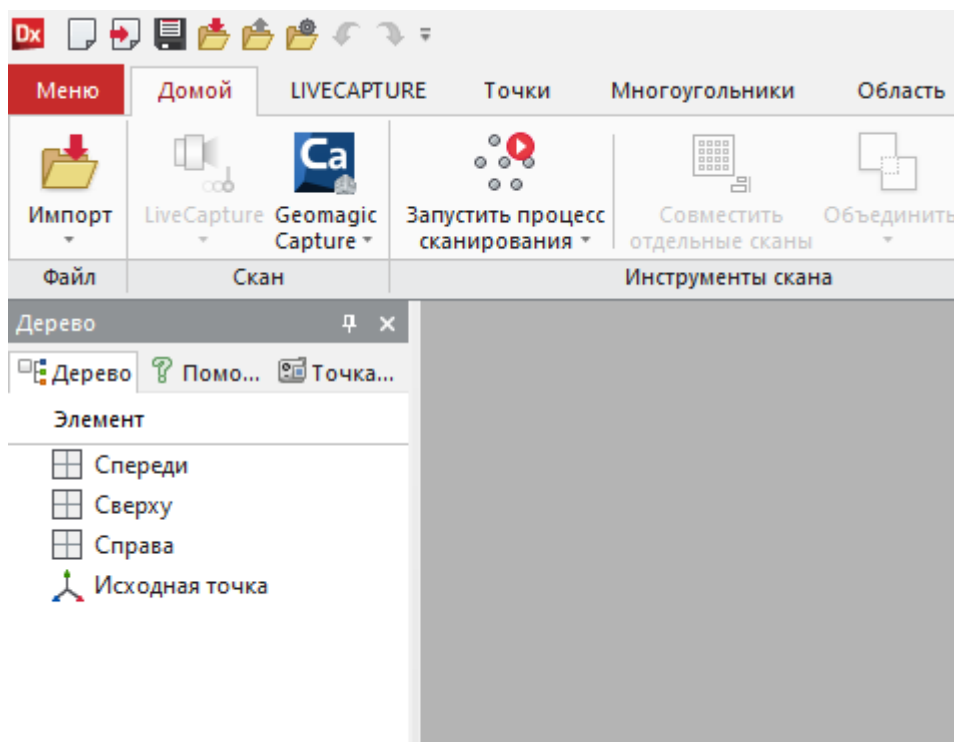


Рис. 4. Вызов глобальных параметров

Вкладка *Общие* позволят настроить основные элементы программы, такие как *Автосохранение*, *Управление*, *Размерности*.

В разделе *Стиль манипуляции с видом* указаны несколько популярных редакторов.

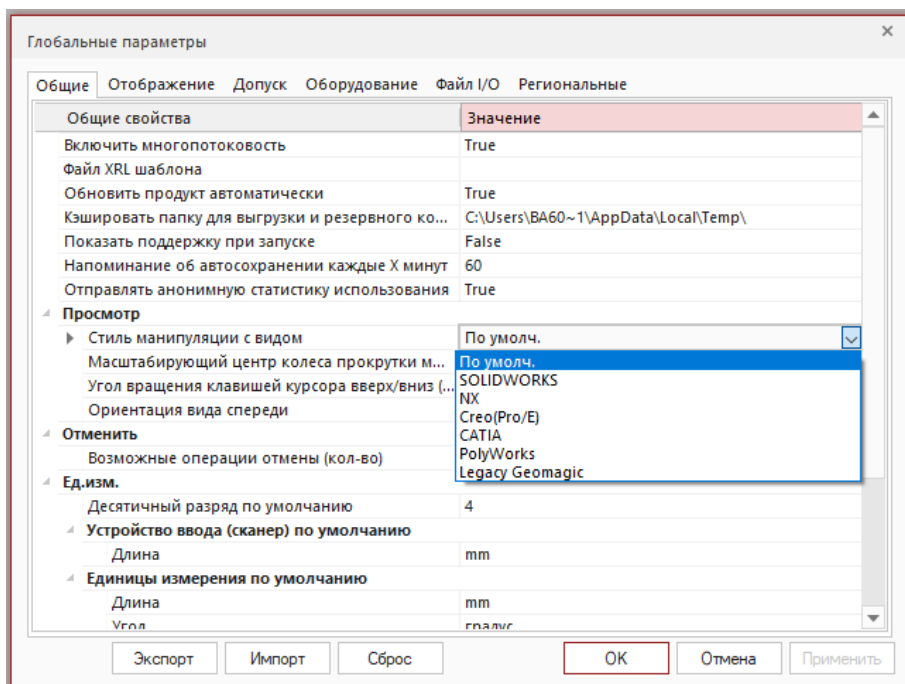


Рис. 5. Глобальные параметры

Вкладка *Общие* позволят настроить основные элементы программы, такие как *Автосохранение*, *Управление*, *Размерности*.

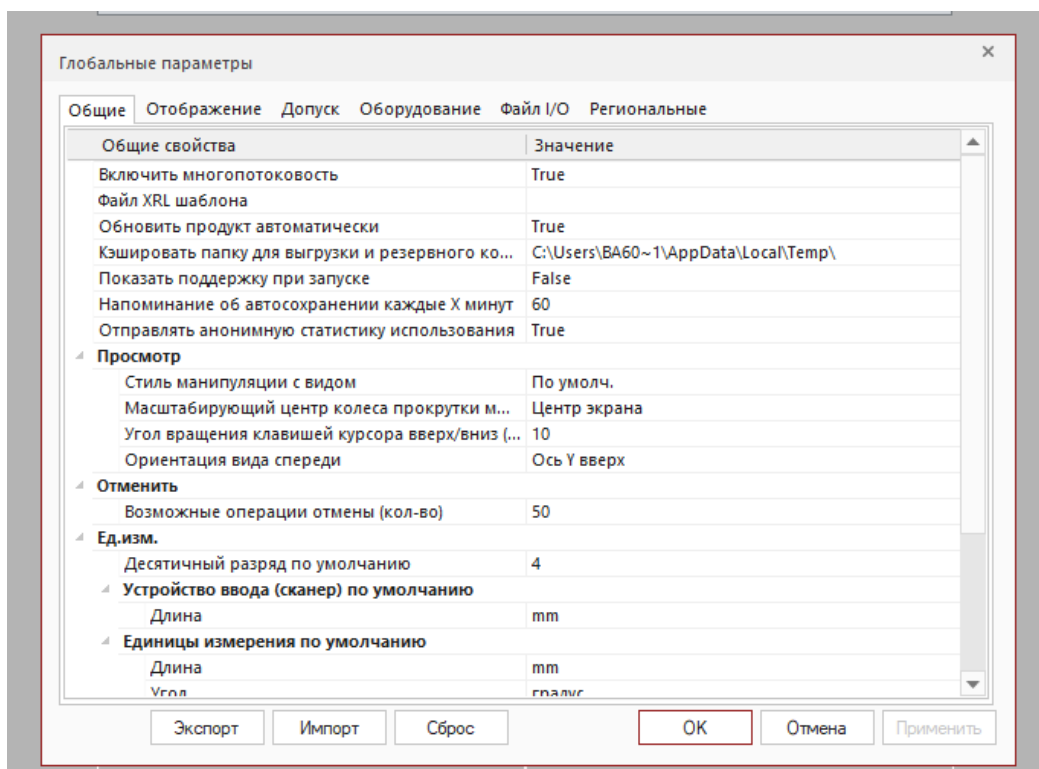


Рис. 6. Глобальные параметры: *Общие*

Вкладка *Отображение* отвечает за визуальное отображение.

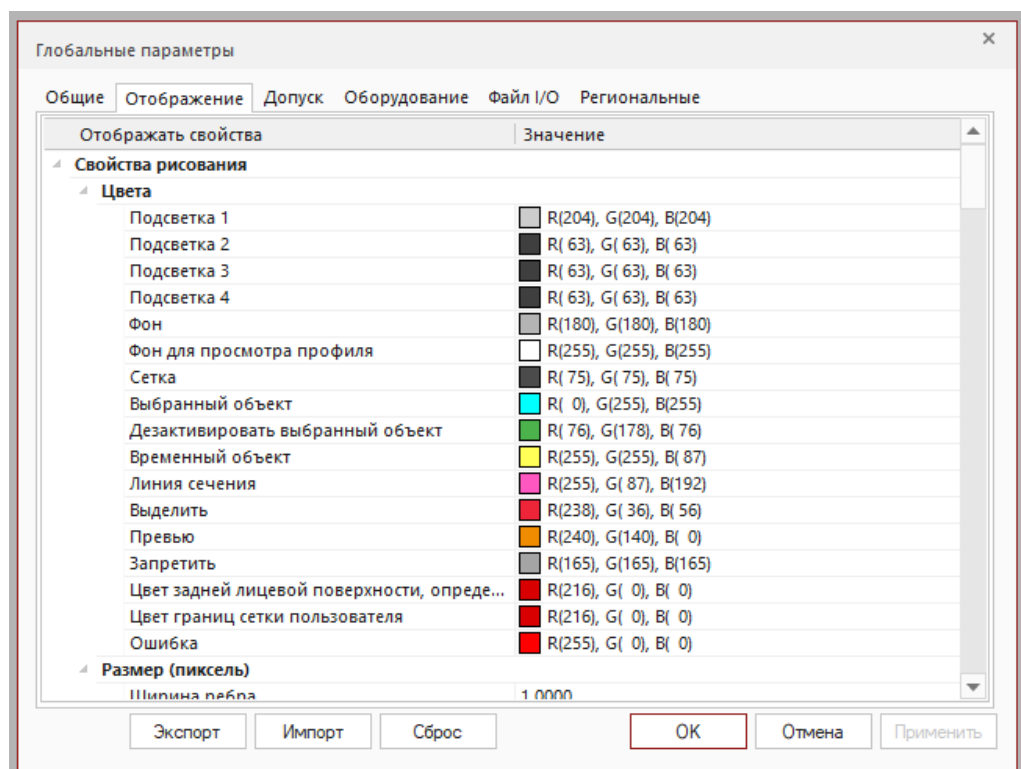


Рис. 7. Глобальные параметры: *Отображение*

Вкладка *Допуск* позволяет настроить допуски для тех функций, где они необходимы.

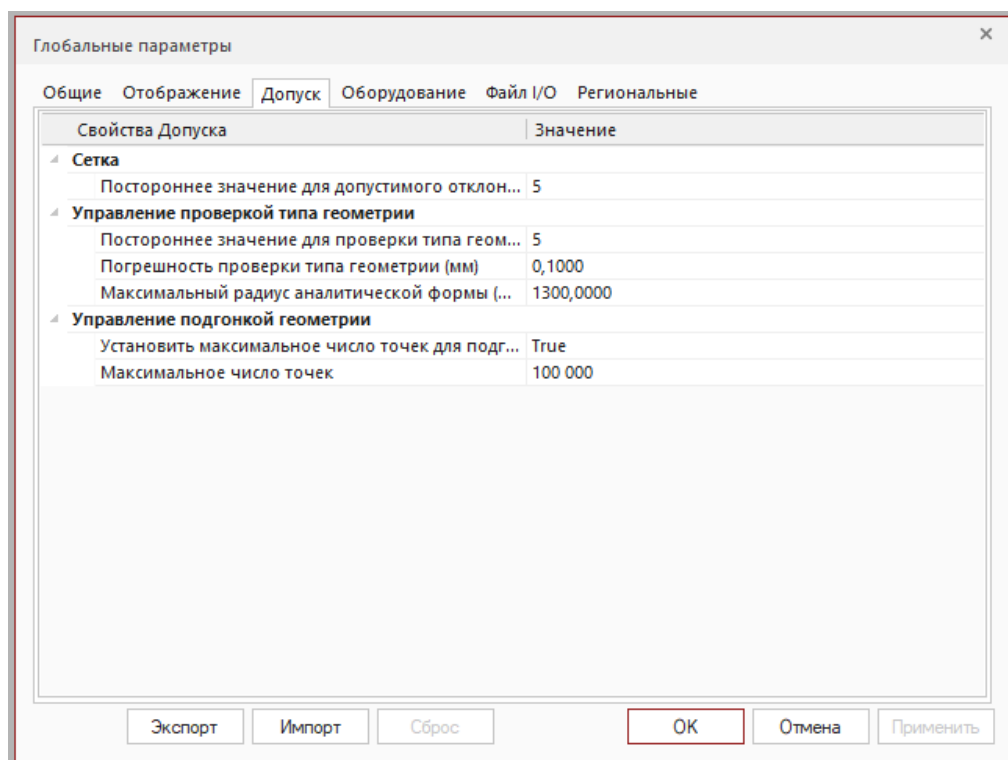


Рис. 8. Глобальные параметры: *Допуск*

Вкладка *Оборудование* отвечает за связь программы с различными 3D-сканерами.

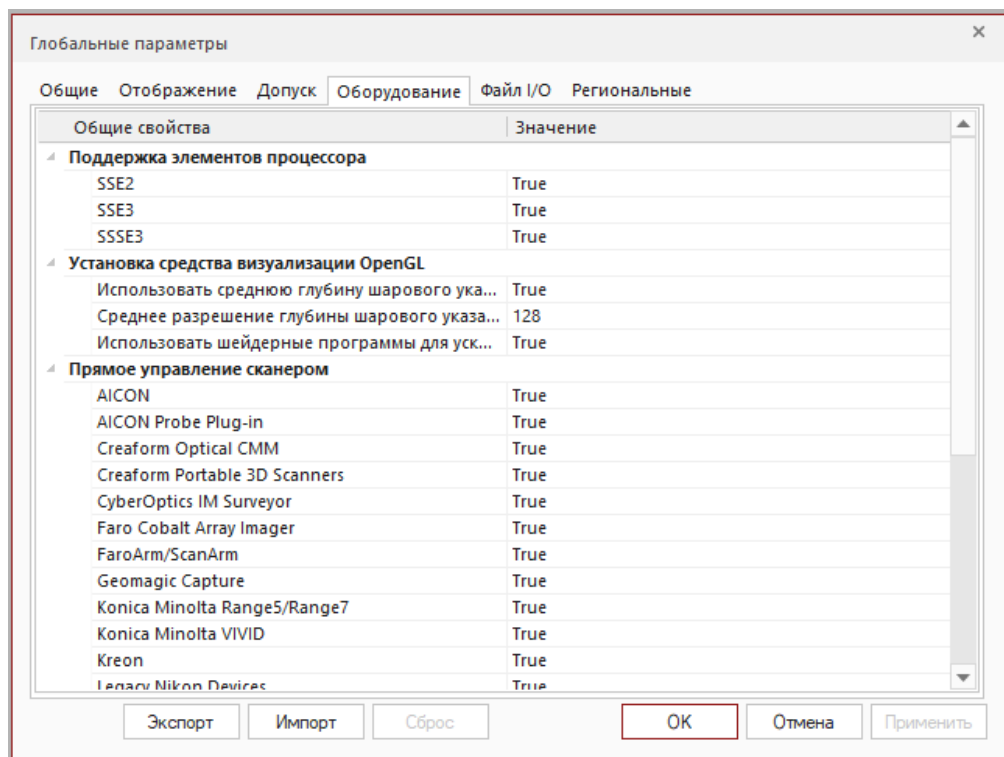


Рис. 9. Глобальные параметры: *Оборудование*

Файл I/O за импорт файлов по умолчанию.

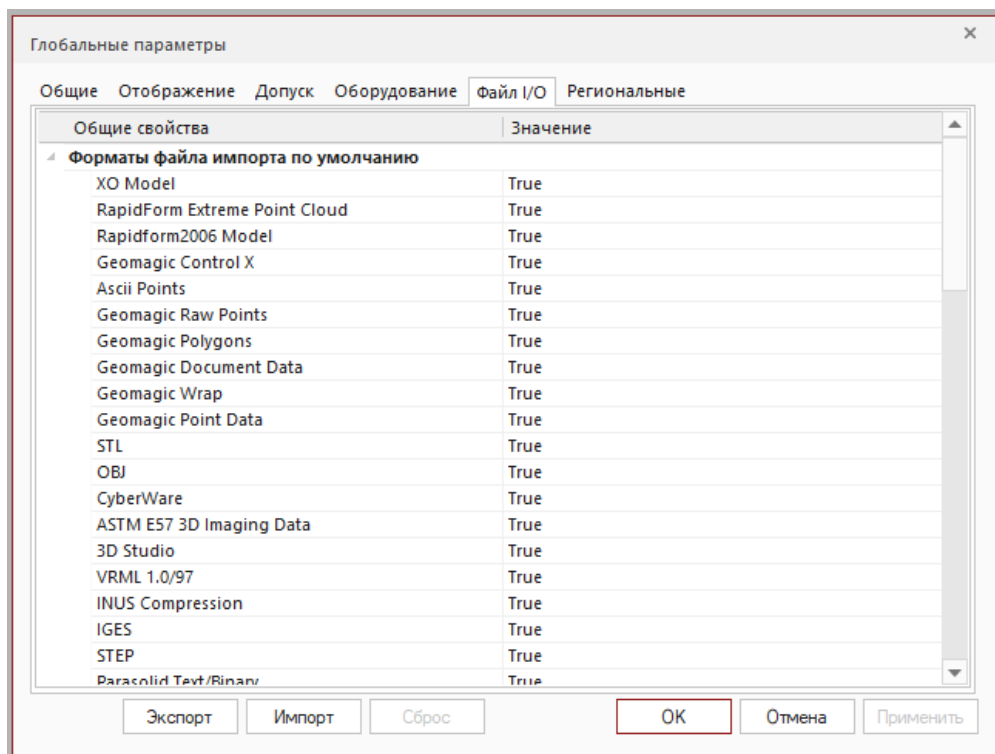


Рис. 10. Глобальные параметры: *Файл I/O*

Вкладка *Региональные* отвечает за настройки языка.

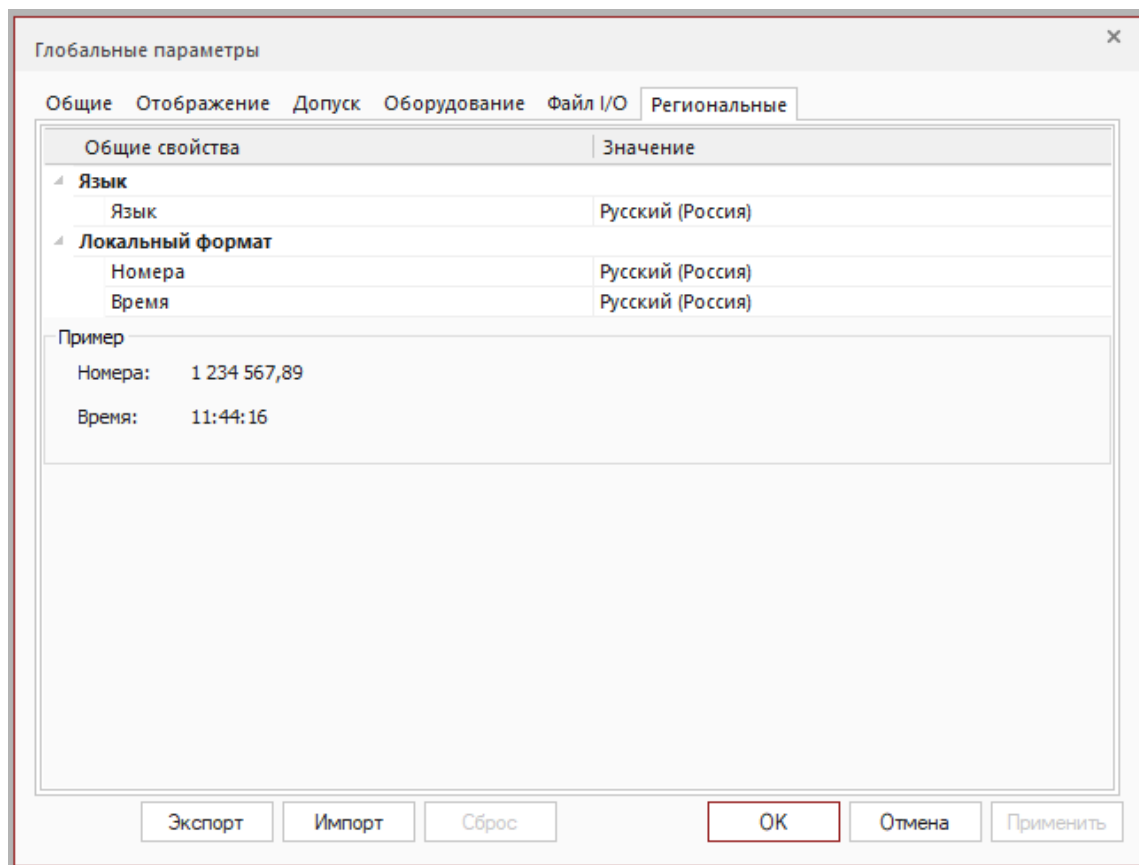


Рис. 11. Глобальные параметры: *Региональные*

Настройки панели инструментов можно вызвать, нажав правой кнопкой по самой панели инструментов, затем нажав *Настроить ленту*. Появляется меню настройки инструментов, слева – команды каждой вкладки, справа – сами вкладки и их дополнения.



Рис. 12. Панель инструментов

В нижней панели находится управление различными фильтрами выбора и видимости, также здесь располагаются инструменты простейшего измерения.

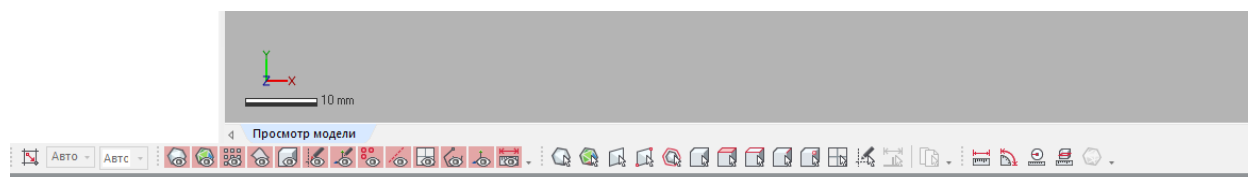


Рис. 13. Инструменты простейшего измерения

В верхней вкладке находятся кнопки отображения составных элементов самой модели, а также вида на модель и ее поворота.

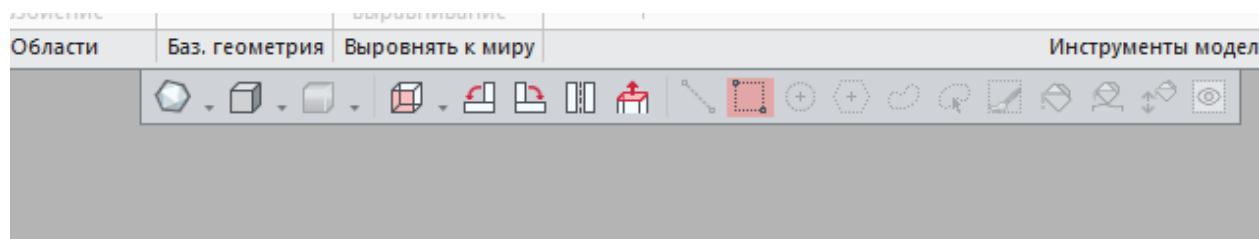


Рис. 14. Кнопки отображения составных элементов

ВОПРОСЫ

1. Какие настройки нужно произвести, чтобы адаптировать комбинации клавиши «под себя»?
2. Где находятся глобальные параметры программы?
3. Как настроить автосохранение программы?
4. Как настроить панель инструментов?

РАБОТА С ПОЛИГОНАЛЬНОЙ МОДЕЛЮ

Для работы с полигональной моделью существует ряд специальных программ, однако, когда необходимо устранить небольшие дефекты в сетке, можно воспользоваться Geomagic Design X.

Если на скане имеются дефекты, что-то не полностью сканировано, много пиков на скане, это можно поправить, используя функции работы с сеткой. Стоит помнить, что любая работа с сеткой ведет к уменьшению точности и нарушению изначальной геометрии детали, однако в некоторых случаях это не существенно. С каждой деталью нужно разбираться отдельно, что мы можем позволить себе сделать, а что нет.

Переходим во вкладку *Многоугольник*, загружаем деталь.

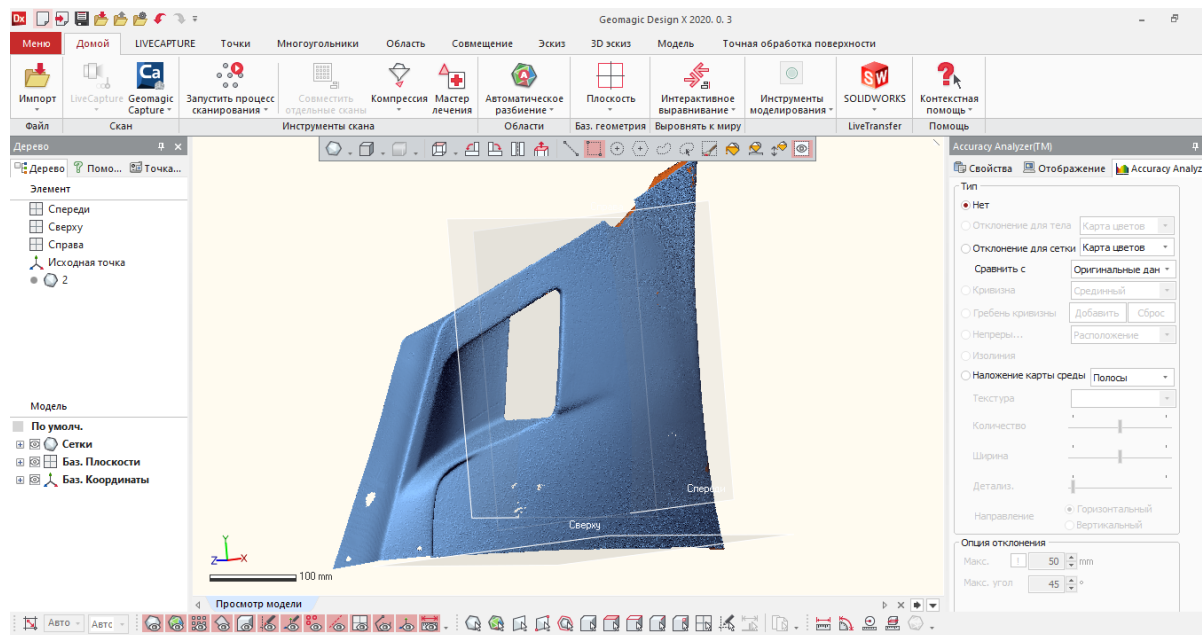


Рис. 15. Загрузка детали

Первая кнопка *Запустить процесс сканирования* посвящена процессу сканирования и относится непосредственно к работе с тем или иным сканером, если он имеет возможность взаимодействовать с Geomagic Design X.

Мастер построения сетки позволяет построить сетку по облаку точек.

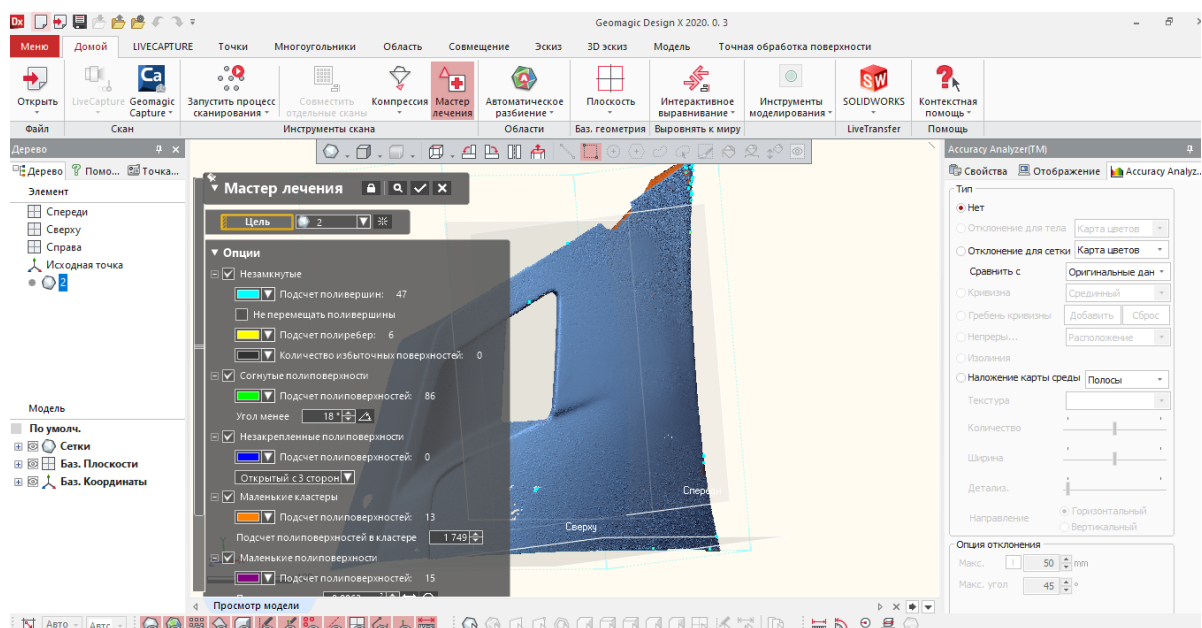


Рис. 16. Мастер построения сетки

Мастер лечения. При нажатии на данную кнопку программа автоматически найдет ошибки, подсчитает полиповерхности, найдет мелкие отверстия, если они есть, различные маленькие кластеры, пересечения и т. д., а затем предложит их исправить.

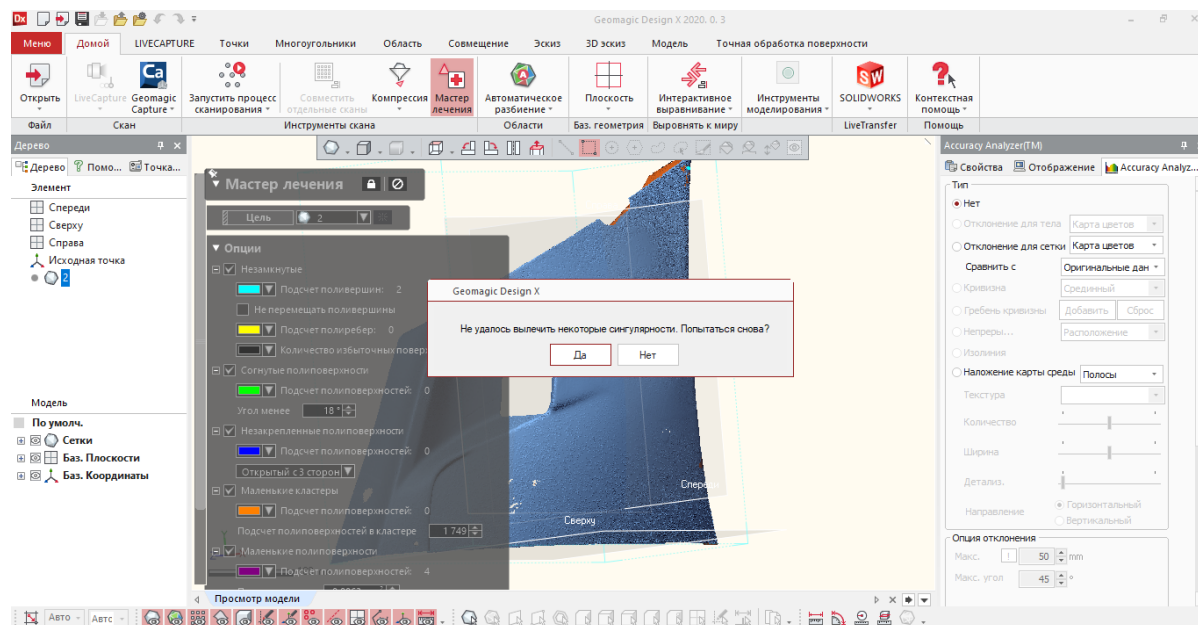


Рис. 17. Исправление ошибок

При нажатии на кнопку *Ок* программа исправляет значительную часть ошибок, но часть из них она исправить не может. Выдается (всплывает) диалоговое окно с возможностью попытаться снова. Рекомендуется согласиться, т. к. после исправления части ошибок программа попытается исправить оставшиеся по новой, после чего мы сможем увидеть, что оставшиеся ошибки исправлены. Однако сетка еще далека от идеала.

Следующий инструмент – *Кисть сглаживания* – позволяет убрать шероховатость поверхности.

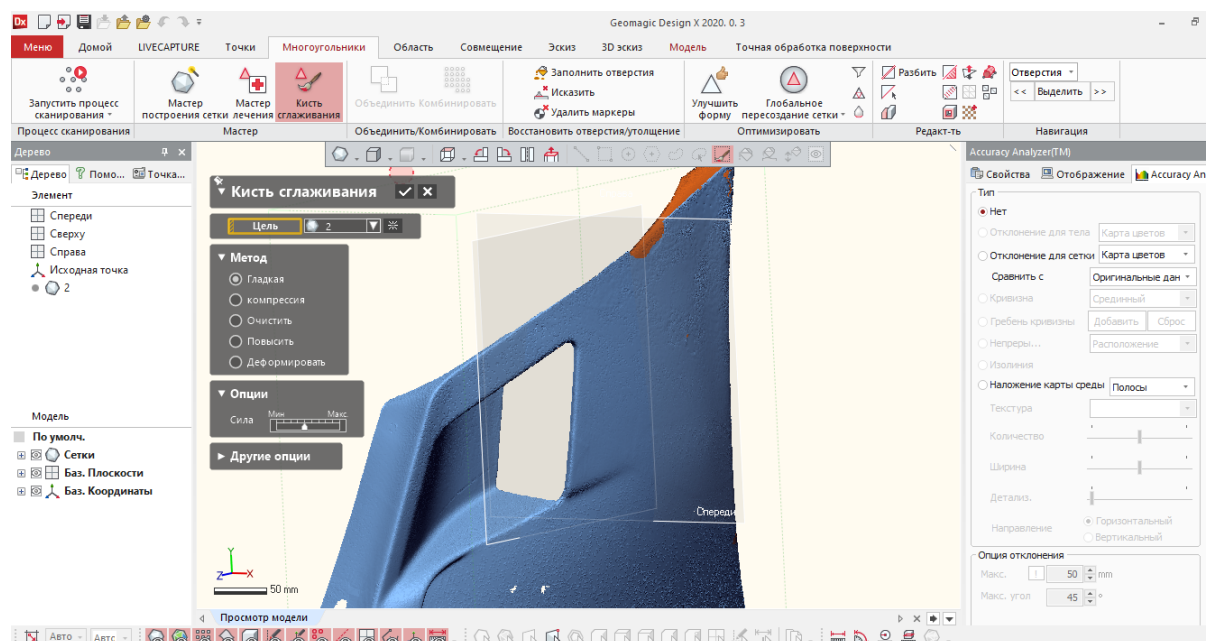


Рис. 18. Кисть сглаживания

Далее следуют команды *Объединить* и *Комбинировать*. Они активны, когда есть несколько сеток. Команда *Заполнить отверстия* позволяет заполнить отверстия целиком.

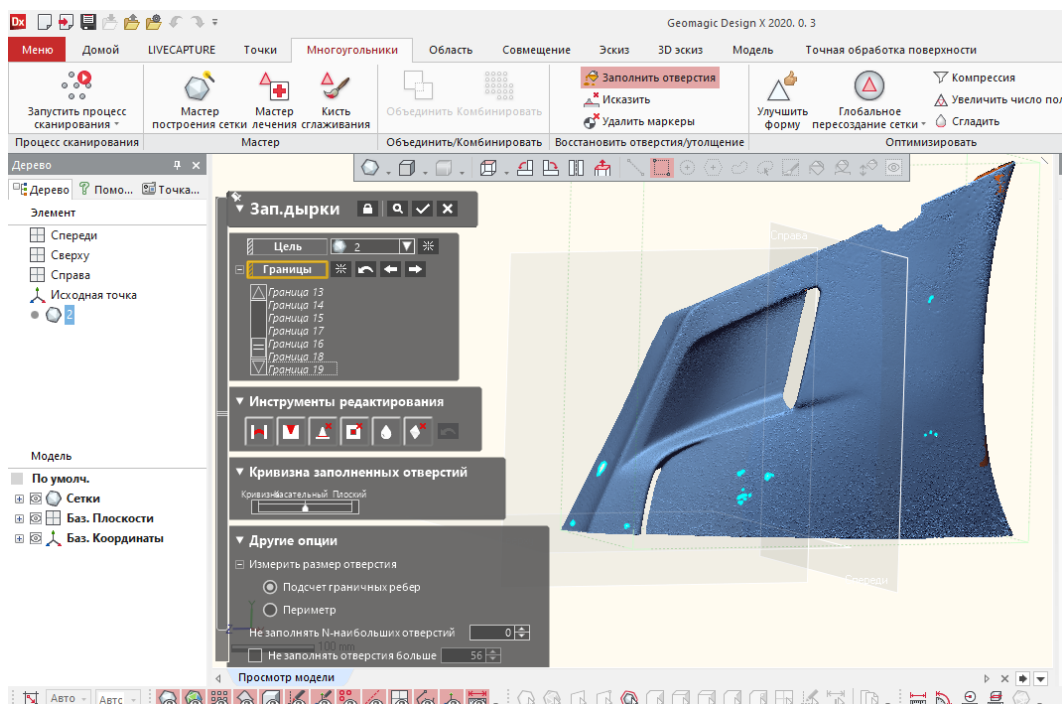


Рис. 19. Заполнение отверстий

При выборе заполнения можно регулировать кривизну заполнения, а также использовать фильтры границы сетки.

Для отверстий на поверхности лучше ставить показатель *По касательной*, для отверстий, расположенных на изогнутых поверхностях «по кривизне», что позволяет добиться равномерного блика.

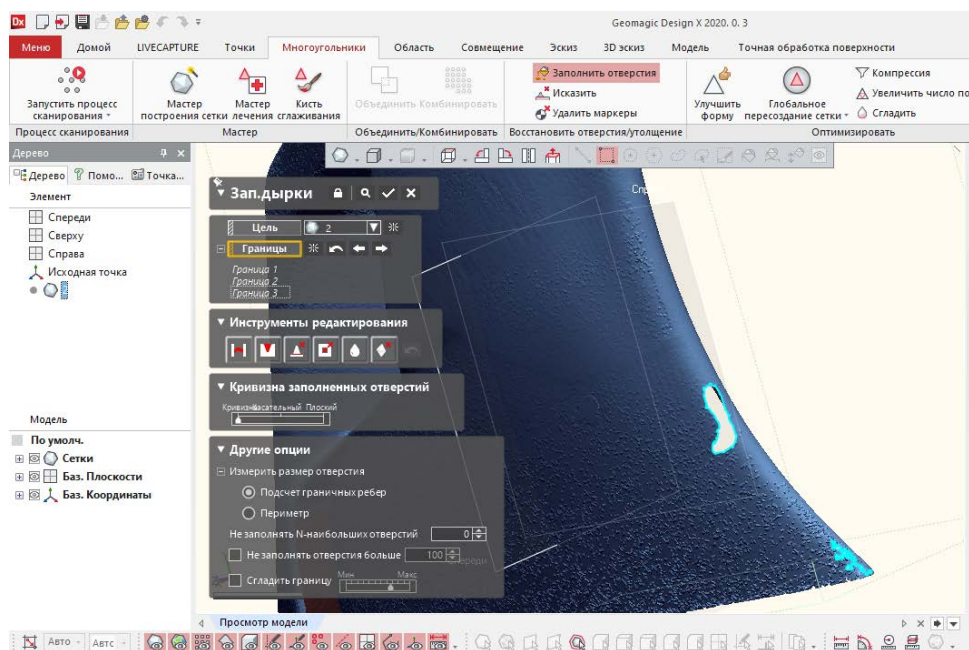


Рис. 20. Регулирование кривизны заполнения отверстий

Также мы можем использовать различные инструменты редактирования: построить мосты, заполнить воронку. При выборе двух вершин заполняется меньшая часть отверстия. Также имеются инструменты: *Удалить полуостров*, *Удалить остров*, *Сгладить границу* и *Удалить полигональную поверхность*.

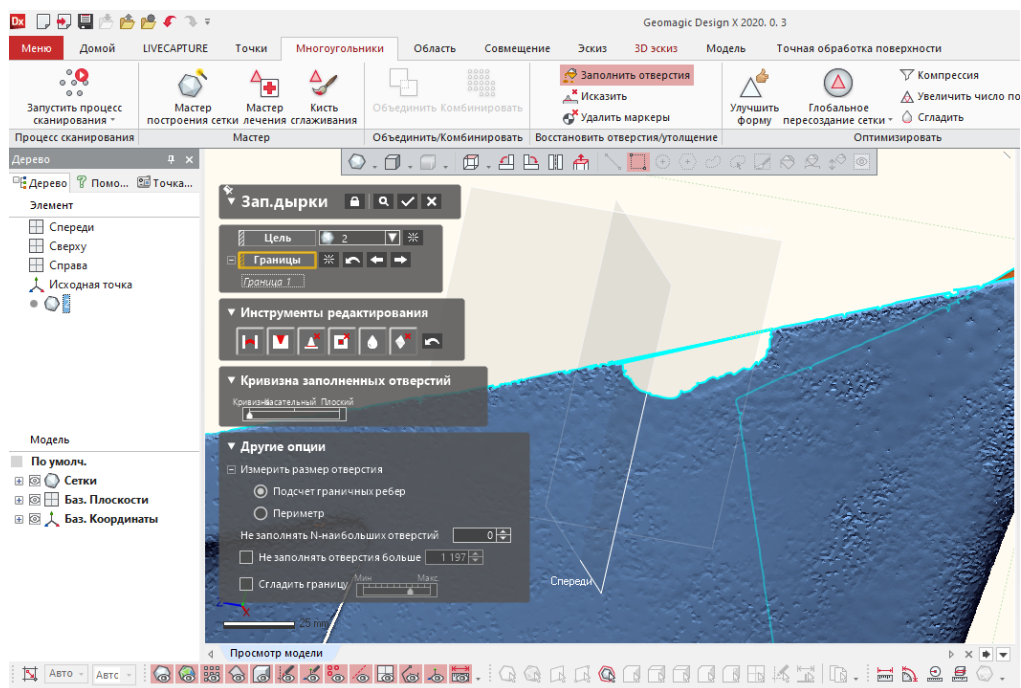


Рис. 21. Использование инструментов заполнения отверстий

При помощи функции *Исказить* в местах пиков, кривых отверстий и т. д. выбирается данная поверхность, функции: *Заполнить*, *Кривизна* позволяют выровнять поверхность.

Кнопка *Улучшить форму* позволяет убрать угловатость за счёт сглаживания.

Кнопка *Глобальное пересоздание сетки*. Не рекомендуется ставить галочку в опции *Создать чистую и множественную отлаженную сетку*, т. к. тогда программа автоматически попытается построить замкнутую модель.

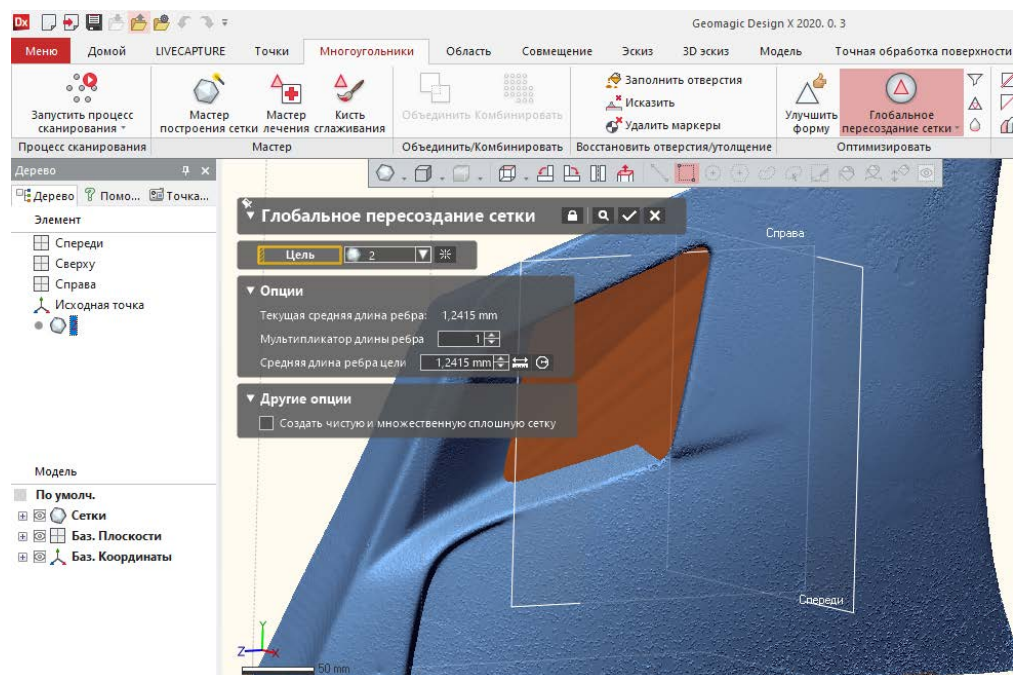


Рис. 22. Глобальное пересоздание сетки

После проделанных операций рекомендуется запускать «мастер лечения» для исправления появившихся ошибок.

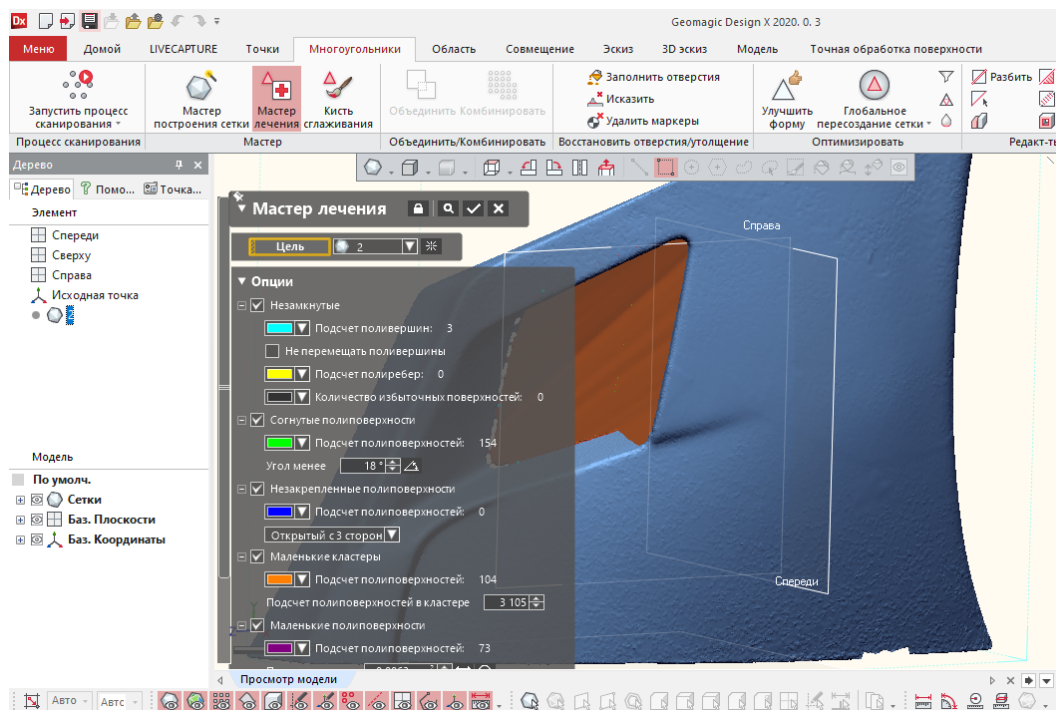


Рис. 23. Мастер лечения

Увеличить число полигонов позволяет увеличить число треугольников в сетке, *Компрессия* – выполняет противоположную функцию.

Изменить границы. Для того чтобы изменить общую границу, выбираем ее, указываем – гладкая, а также выбрать глубину модели в зависимости от полигонов имеющейся границы.

Для круглых отверстий выбираем метод *Подогнать*, операцию *Окружность*, чем достигаем идеальной окружности.

Команда *Разбить* позволяет разбить сетку на несколько частей, для удобства работы с каждой в отдельности или для отделения необходимого элемента.

Одной из важных функций является *Утолить*, когда имеются плоские, тонкие модели, а также отсканированные с одной стороны, эта функция позволяет выровнять толщину всей детали.

Развернуть / свернуть сканирование – это функция развертки, которая работает на данный момент только для цилиндрических деталей.

Также следует отметить, что возможно изменять материал (*Отображение модели*).

Во вкладке меню *Файл* находится функция захвата экрана, для создания картинок, в которой выбирается необходимый вид, разрешение и фон, после чего откроется папка изображений, из которой можно скопировать в буфер обмена или импортировать в нужный формат.

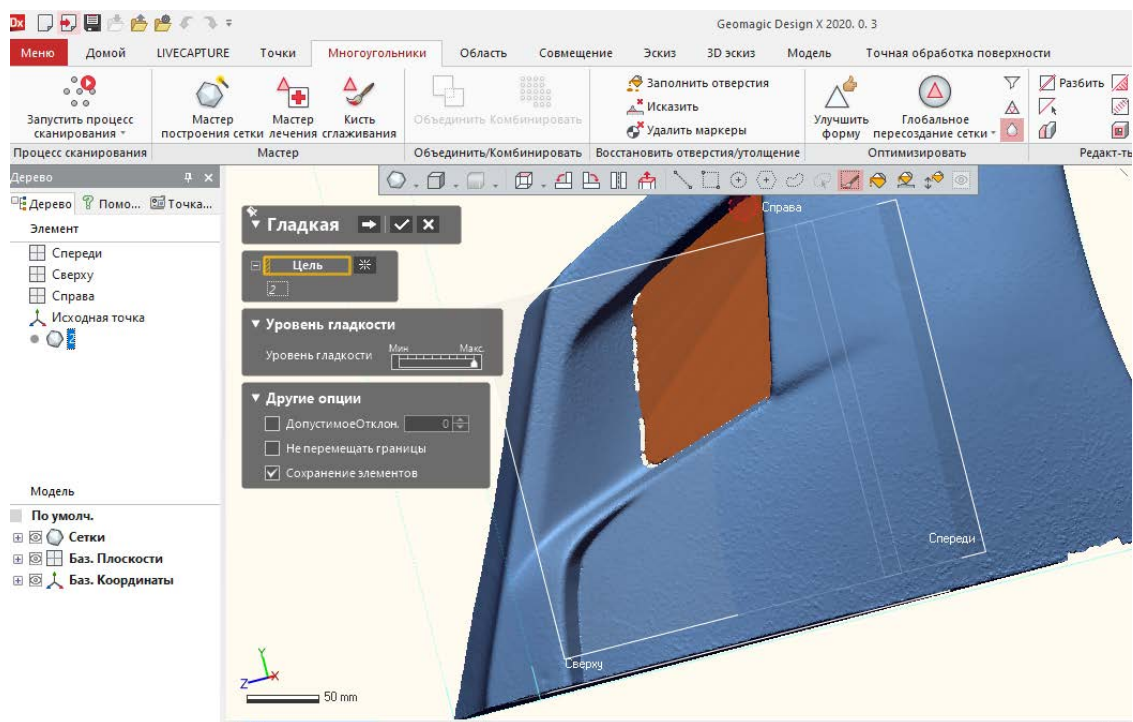


Рис. 24. Команда *Сгладить*

ВОПРОСЫ

1. Может ли Geomagic Design X напрямую работать со сканером?
2. Какой инструмент позволяет находить и исправлять мелкие дефекты сканирования?
3. Какой показатель лучше всего ставить на отверстие, находящееся на поверхности (по касательной, по кривизне)?
4. Какие инструменты редактирования используют для заполнения отверстий?
5. Почему при глобальном пересоздании сетки не рекомендуется ставить галочку в опции «создать чистую и множественную отлаженную сетку»?
6. Какая команда позволяет разбить сетку на несколько частей?
7. Можно ли в программе Geomagic Design X создать картинку рабочей модели?

РАЗБИВАНИЕ НА ОБЛАСТИ И ВЫРАВНИВАНИЕ В ОСЯХ КООРДИНАТ

На этом уроке ознакомимся с функцией разбивания на области нашего скана и выравниванием скана в осях координат.

Загрузите модель тормозного цилиндра к себе на компьютер, а затем откройте её в программе Geomagic Design X, нажав в верхней части окна на кнопку с папкой *Импорт*.

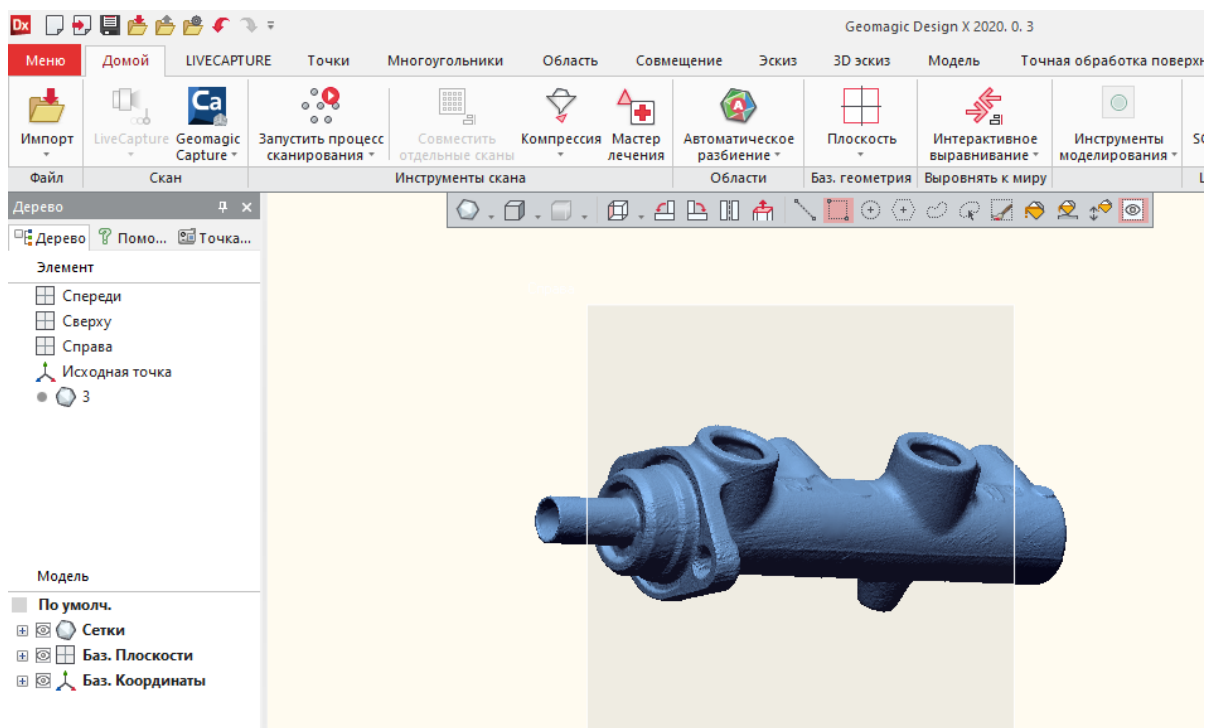


Рис. 25. Модель

Так как у сканеров, как правило, нет привязки к нулю координат, то и сканы, выгруженные из программного обеспечения, обычно расположены без привязки к системе координат.

Простой пример— тормозной цилиндр. Он в осях координат располагается произвольно, не параллелен и не перпендикулярен ни к одной из плоскостей.

Первое, с чего надо начать работу по обратному проектированию по сканам — это выравнивание в системе координат.

Выравнивание в осях координат напрямую связано с разбиением полигональной модели на области.

Для разбивки на области мы можем перейти во вкладку *Область*, либо во вкладке *Домой* в разделе *Область* нажать на кнопку *Автоматическое разбиение* — автоматически выбирается цель, это наша полигональная модель.

Мы можем задать чувствительность, выбрать неровности сетки: более грубая, более гладкая, сохранить какие-то существующие области, объединить простейшие формы. Выбираем модель и нажимаем *ОК*.

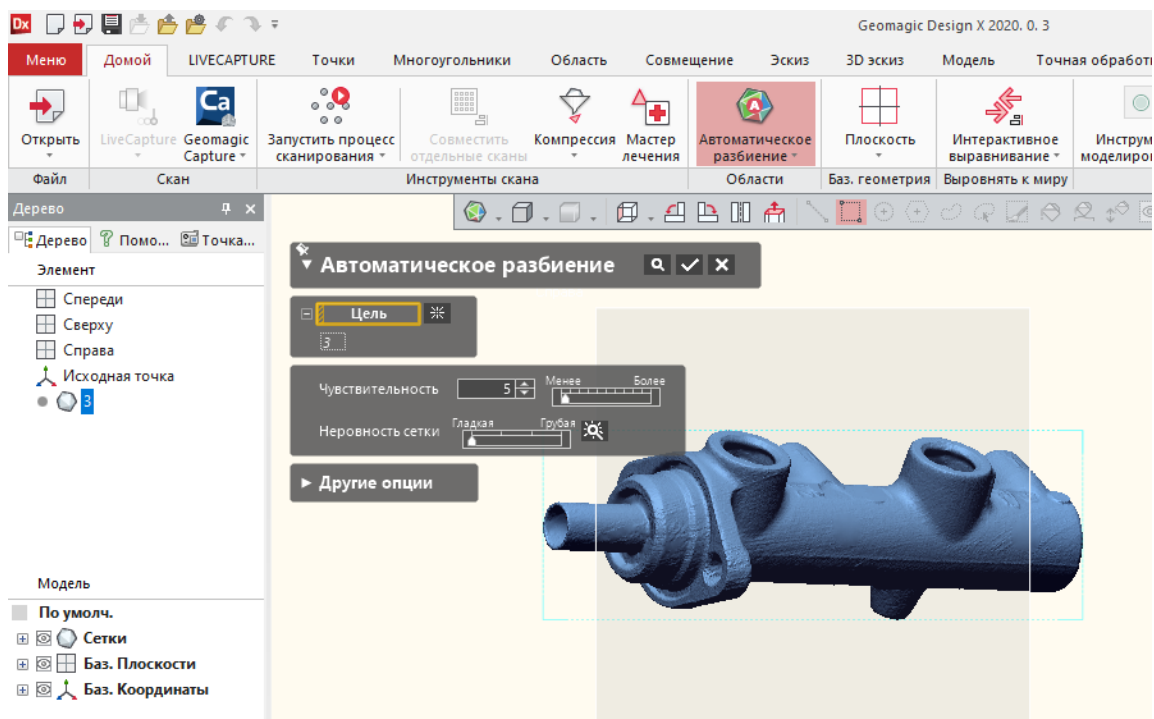


Рис. 26. Автоматическое разбиение

Скорость и время разбиения на области зависит от того, сколько полигонов в нашем скане, от производительности компьютера и от «чувствительности», выставленной в настройках. После разбиения модель стала разноцветной и разбилась на области.

Эти области – простейшие геометрические формы, такие как цилиндр, сфера, конус, плоскость, тор.

Программа не понимает, если наши области не соприкасаются, она определяет их как разные области.

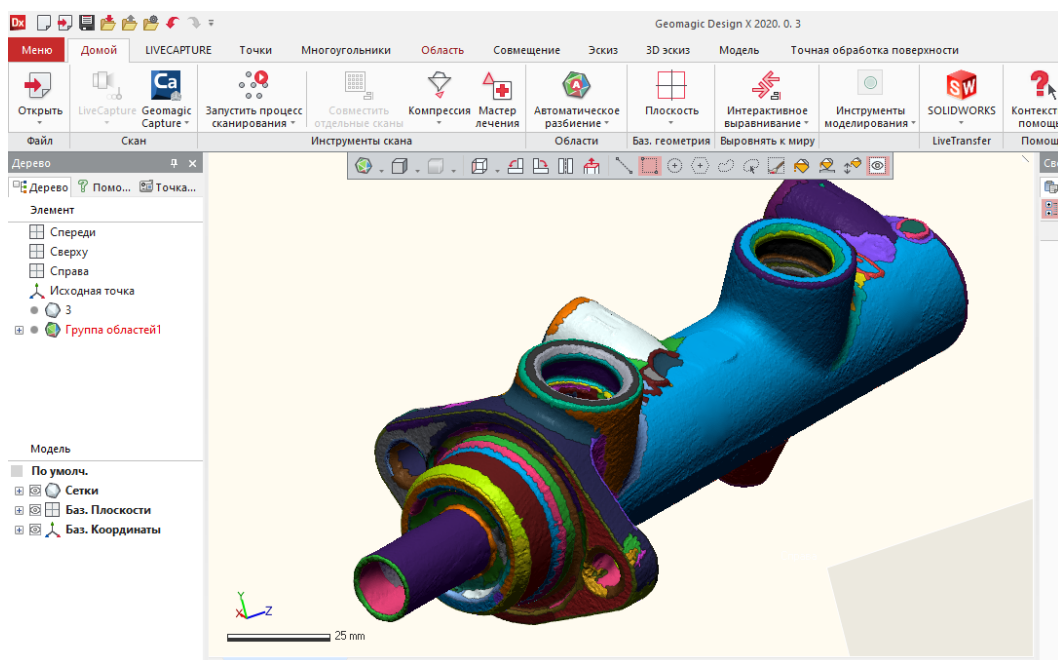


Рис. 27. Области

Обратите внимание на плоскую область с двумя отверстиями. Она окрашена разными цветами.

Чтобы объединить эти области, переходим во вкладку *Области* и выбираем необходимые элементы зажатой клавишей *Ctrl*. Выбираем функцию *Объединить*.

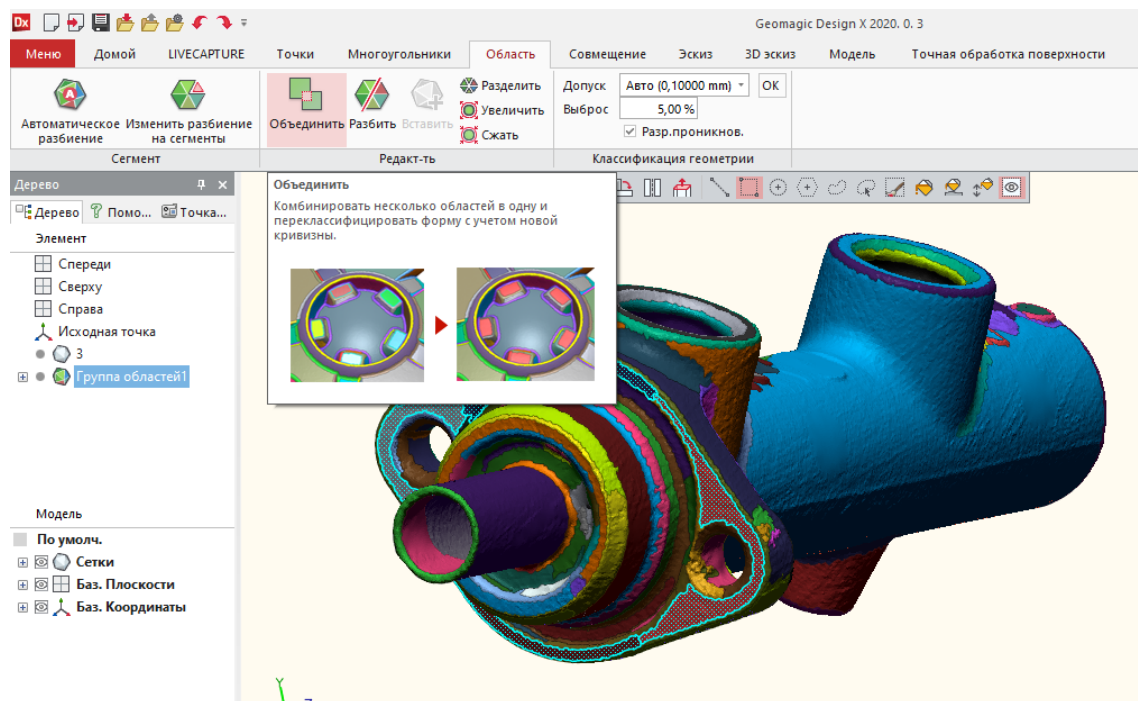


Рис. 28. Функция *Объединить*

Автоматическое разбиение делается один раз для каждой модели. Далее можно изменить настройки в *Дереве построений*, дважды щёлкнув по соответствующим функциям.

Скан разбит на сегменты, чтобы изменить разбиение, выбираем нужную зону и нажимаем на функцию *Изменить разбиение на сегменты* – программа выполнит переквалификацию. Убираем всё ненужное, выбираем одну зону (можем задать ей другую чувствительность) и нажимаем *Применить*. Как мы видим, у нас поменялось разбиение.

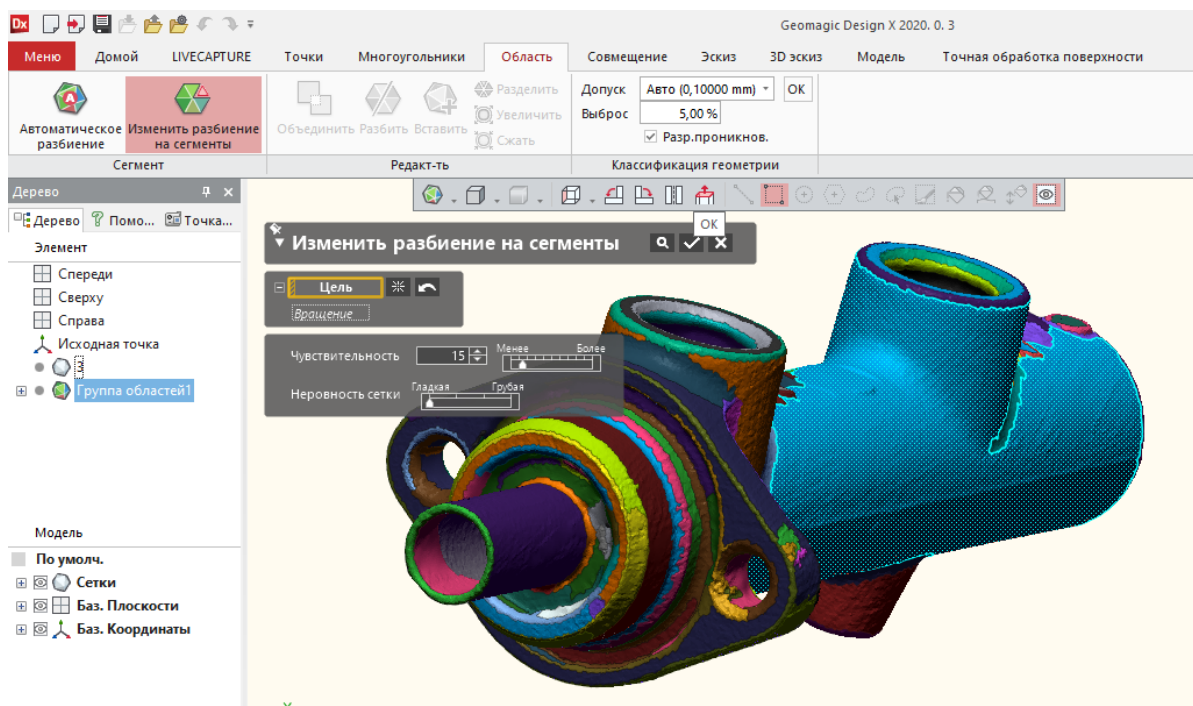


Рис. 29. Другой вид разбиения

Другой вариант (отменим операцию нажав *Ctrl + z*) использовать функцию *Разбить*. Выбираем её и *Полилинией* обрисовываем нужную область, тем самым мы отделили соответствующую область от основной.

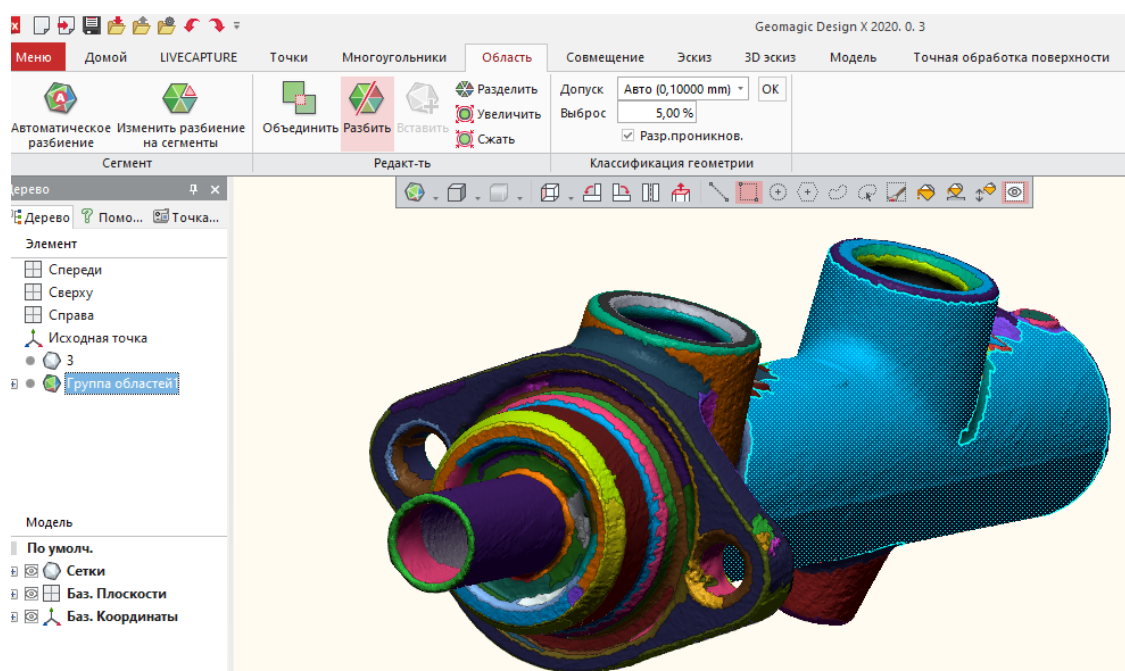


Рис. 30. Полилинией обрисовываем нужную область

Это лишь инструменты, как их использовать, решать вам в зависимости от заданной цели.

Мы разбили нашу модель на области, и в фильтрах мы всегда можем выключить видимость областей, моделей и обратно их включить.

Дальше надо привести модель к нулю координат. Если мы начнём моделировать в текущем положении, получим CAD-модель, но она будет занимать произвольное положение в осях также, как наш скан. Это не очень удобно и неправильно.

Поэтому для дальнейшего моделирования включаем видимость областей. Области могут пересекаться, заходить на какие-то скругления, фаски, и чтобы исключить лишние ошибки, мы можем сжимать нашу область. Она уменьшается на несколько полигонов от границы, либо наоборот – расширить, увеличить. Также мы можем разделить неприлегающую область на несколько частей. Что такое разделить? Например, мы выбрали плоскость 1, плоскость 2, объединили их, и у нас получилась одна плоскость, потом нам захотелось её изменить, мы нажали *Разделить*, и у нас получились две разные плоскости.

Итак, как же привести модель к нулю координат? Каждый конструктор моделирует, как ему удобно, и дав скан пяти разным конструкторам, мы получим пять немного по-разному построенных моделей.

В данном случае мы выбираем цилиндрическую поверхность штока. Переходим во вкладку *Модель / Вектор* и видим, что в объектах у нас выбран цилиндр, нас интересует не *Метод Извлечь*, а найти ось цилиндра. Как мы видим, появился *Вектор* – это ось нашего цилиндра.

Нажимаем *Применить*.

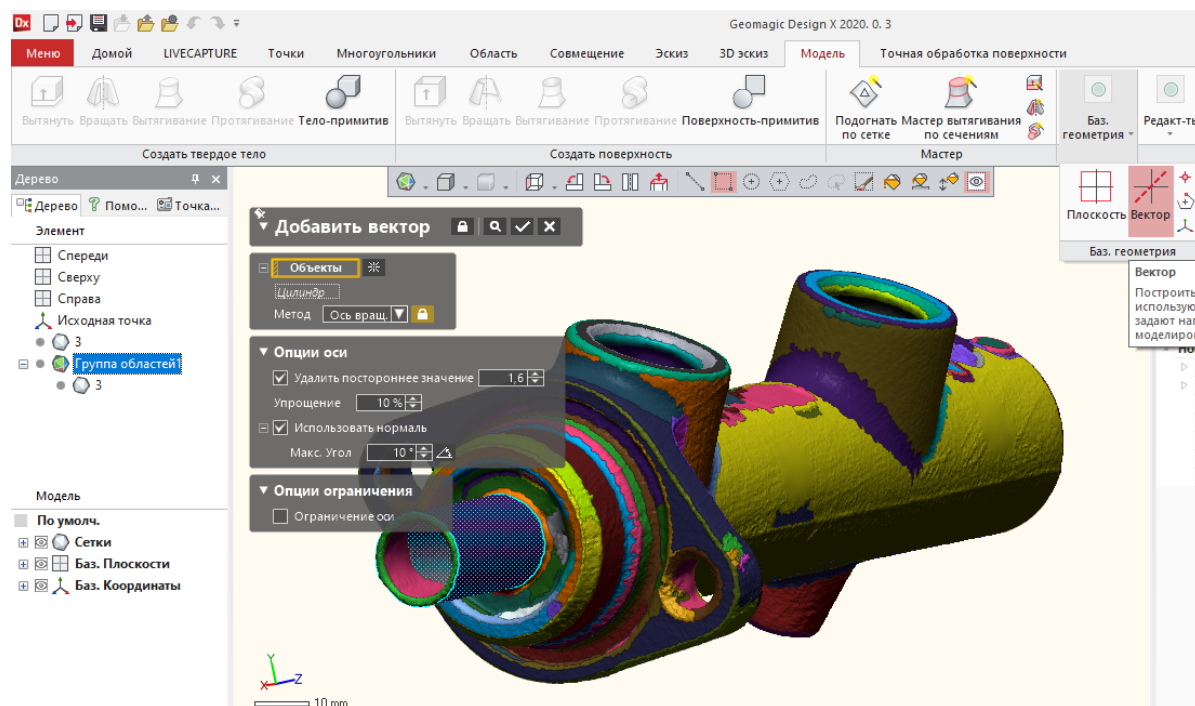


Рис. 31. Команда *Вектор*

Далее выбираем плоскость, которую перед этим объединили. Можно её немного сжать.

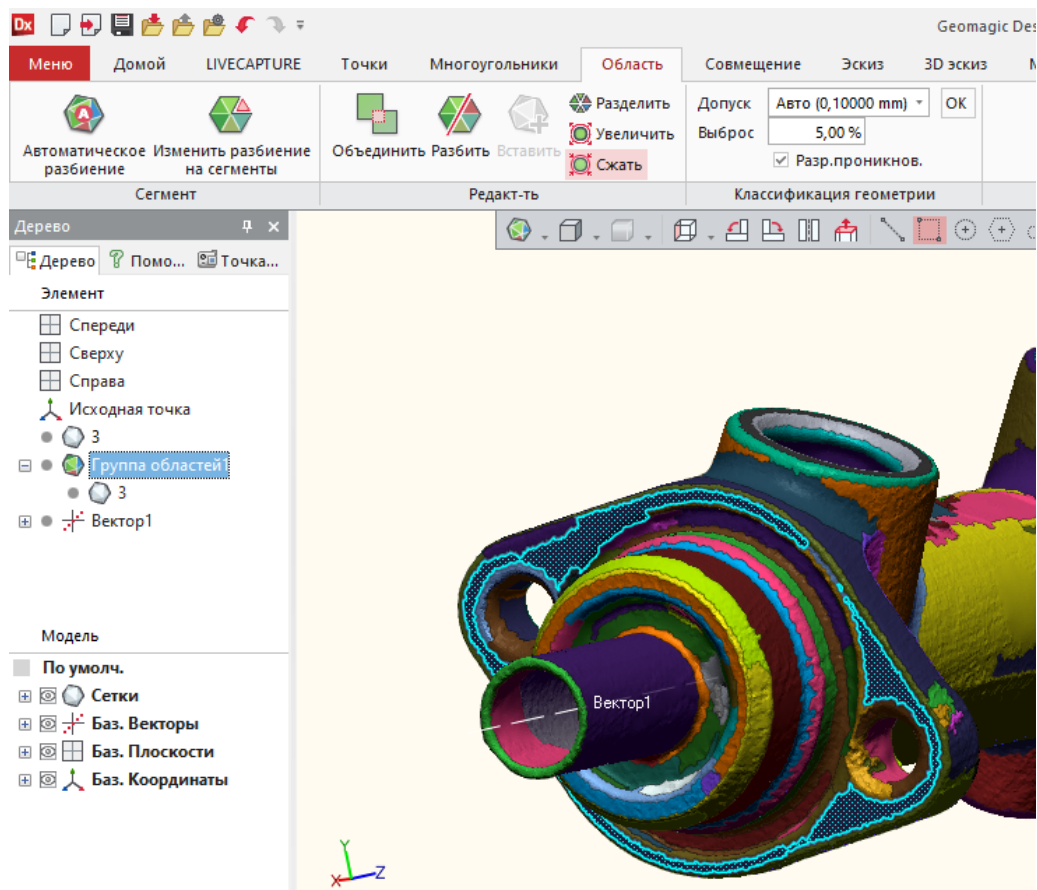


Рис. 32. Выбор плоскости

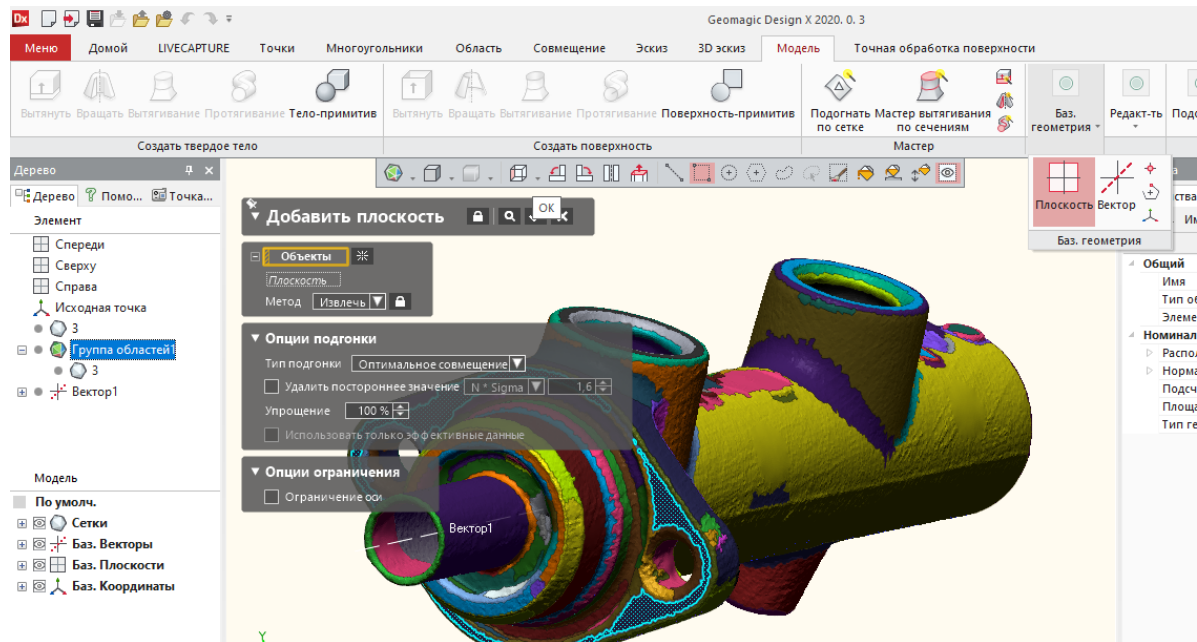


Рис. 33. Добавить плоскость

Извлечём плоскость из сжатой области: перейдём во вкладку *Модель / Базовая геометрия / Плоскость*, мы можем удалить посторонние значения, то есть установить сигму выборки наших точек, либо соотношение, либо абсолютное расстояние. По сигме самое простое и, наверное, одно из самых правильных вариантов – значение, равное 1.6, можно 2 указать, например, оно

сильно не повлияет, нажимаем *Применить*, и программа извлекает плоскость из выбранной нами области.

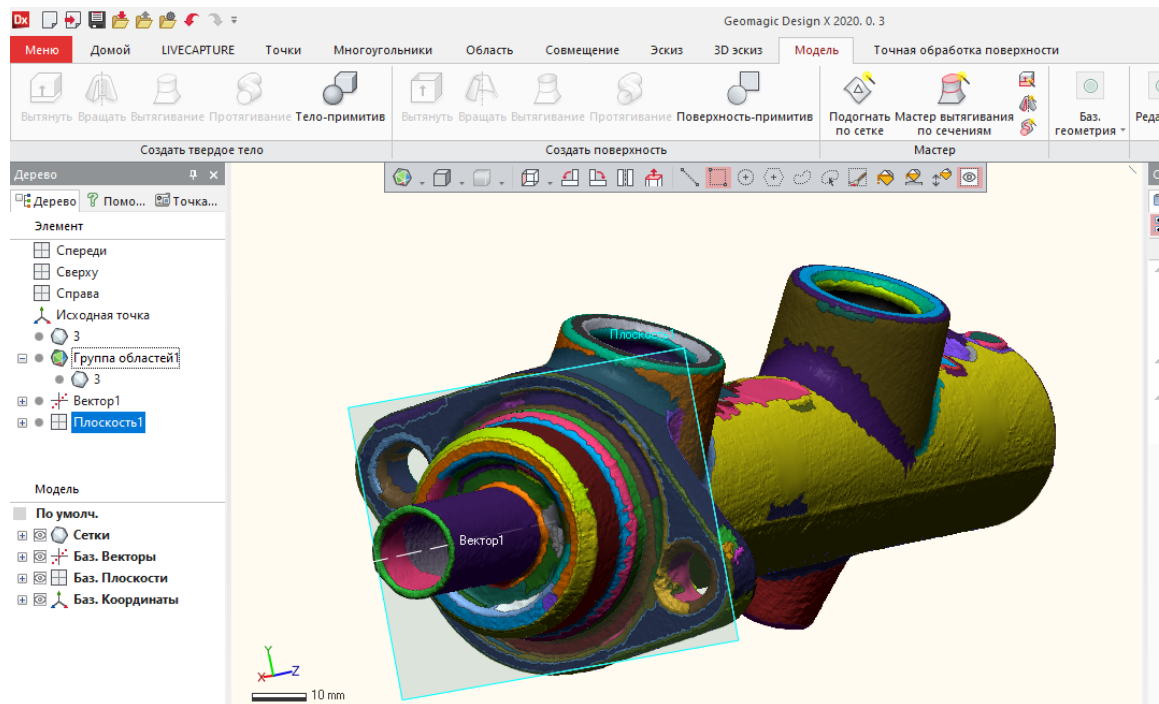


Рис. 34. Извлечение плоскости из выбранной области

Далее мы должны найти точку пересечения плоскости и вектора. Выбираем в дереве построений с зажатым *Ctrl* вектор и плоскость, программа сама нам предложит метод пересечения линии и лицевой поверхности. На предпросмотре видна наша будущая точка, выбираем *Применить*.

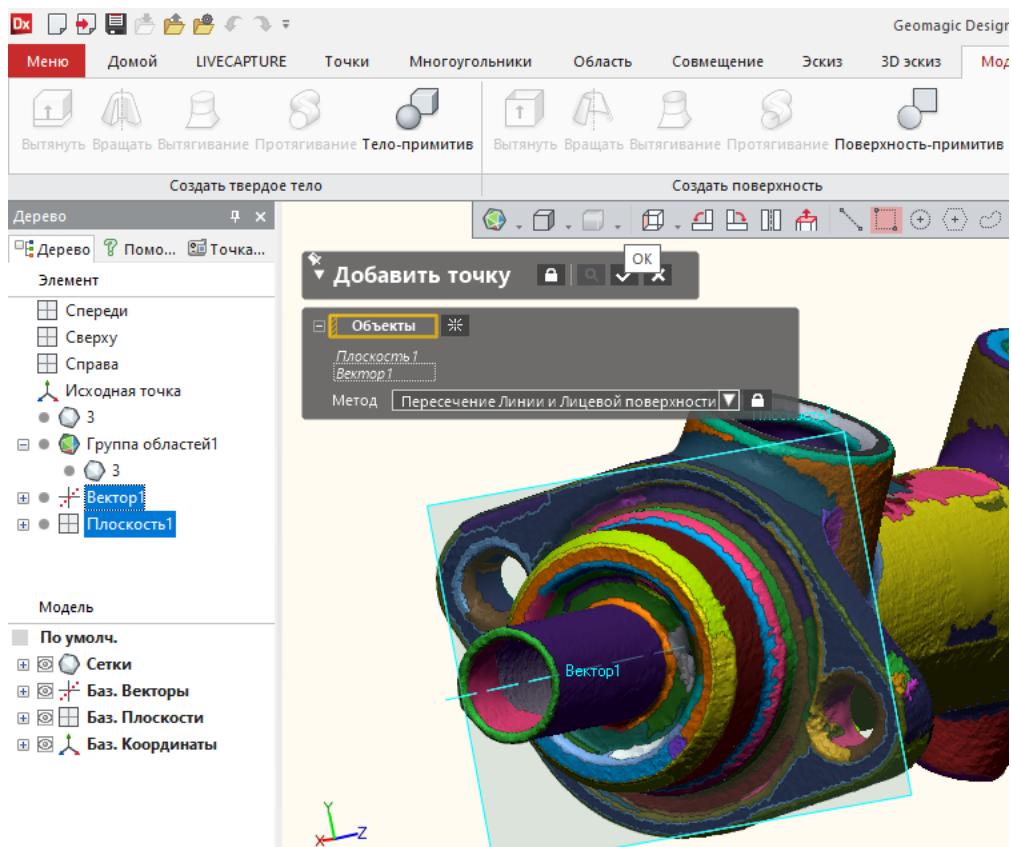


Рис. 35. Добавить точку

Теперь у нас есть точка, вектор и плоскость, этого достаточно, чтобы привести нашу модель к нулю координат. Для этого переходим во вкладку *Совмещения / Интерактивное выравнивание / Перемещаемые объекты* (скан цилиндра) / *Следующий этап* (стрелочка). Затем в плоскости выбираем созданную нами плоскость, в качестве вектора указываем *Ось цилиндра* и в расположении указываем *Точку*. Здесь мы можем поменять ориентацию, то есть отразить в наших осях координат нашу модель, слева – как она расположена сейчас, справа – как она будет расположена, нажимаем *Применить*. Видим, что теперь наша модель выровнена в осях координат.

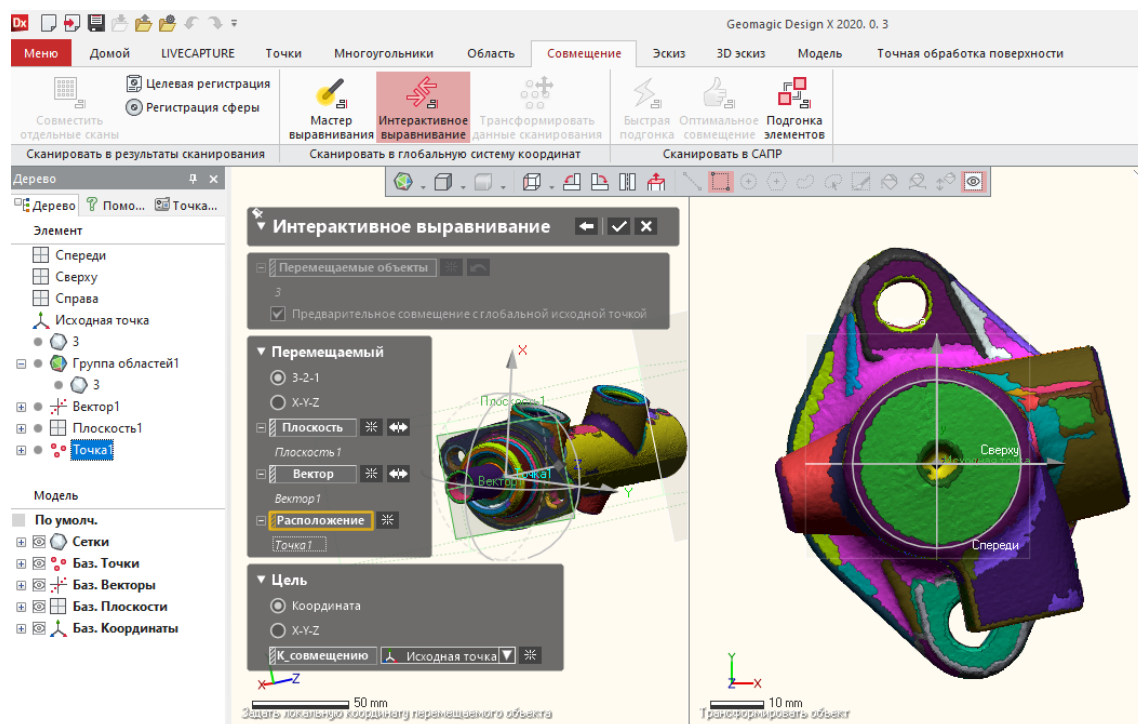


Рис. 36. Интерактивное выравнивание

Но по-прежнему ориентация у нас не самая удобная. Перейдём к цилиндрическим отверстиям. Программа распознала их как произвольную форму. Немного сожмём их. А во вкладке *Свойства* вручную в типе геометрии зададим ей классификацию – *Цилиндр*.

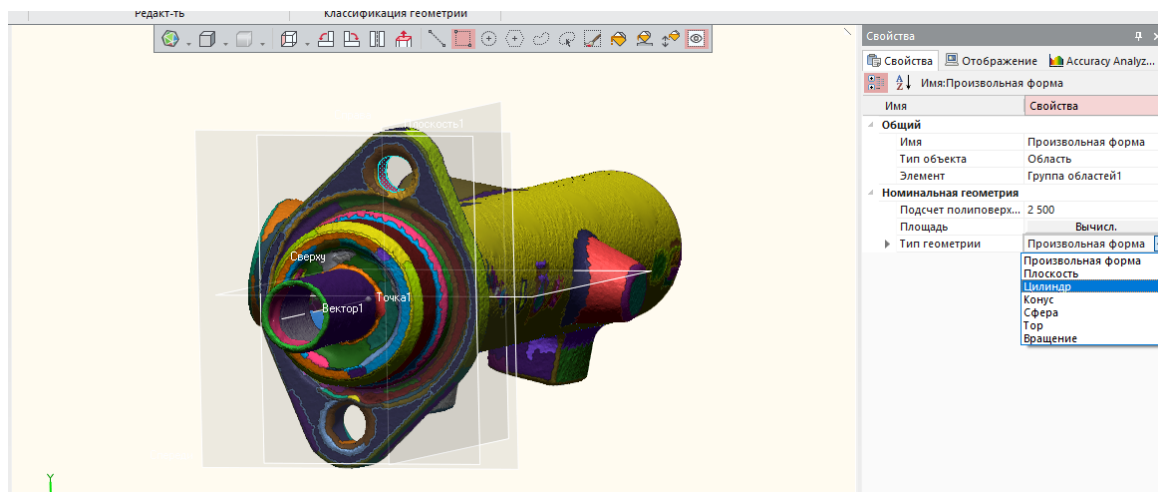


Рис. 37. Тип геометрии – цилиндр

Те же операции проделываем и со вторым цилиндрическим отверстием.

Теперь переходим в модель, находим вектор одного цилиндра оси и затем другого (см выше).

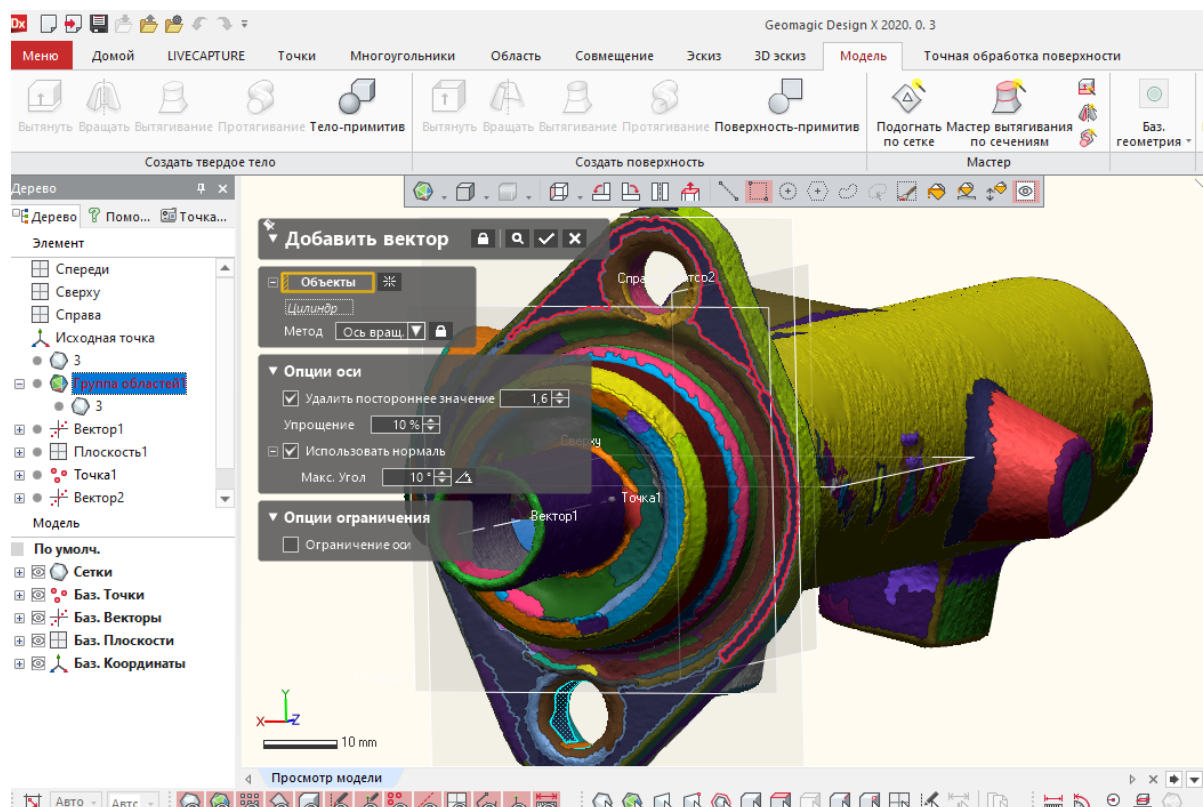


Рис. 38. Находим векторы

Затем находим точки пересечения этих осей с построенной ранее плоскостью.

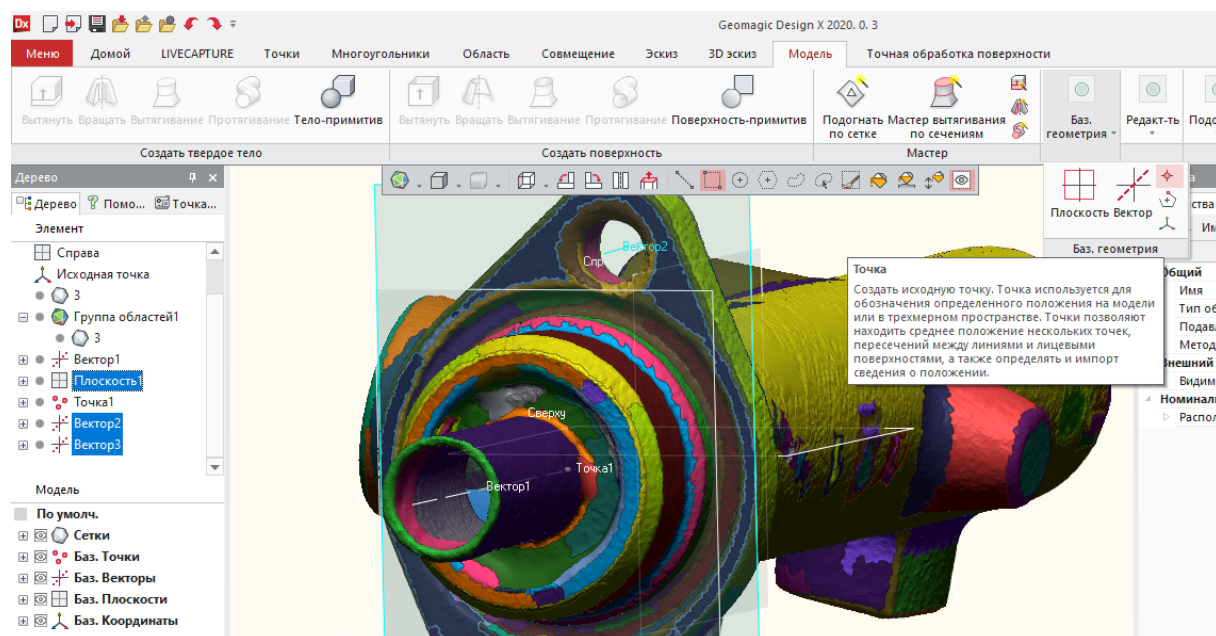


Рис. 39. Находим точки пересечения осей с плоскостью

Теперь, когда найдены две точки, соединим их вектором: выберите две точки и программа автоматически предложит метод *Выбрать множественные точки* и нарисует нам вектор.

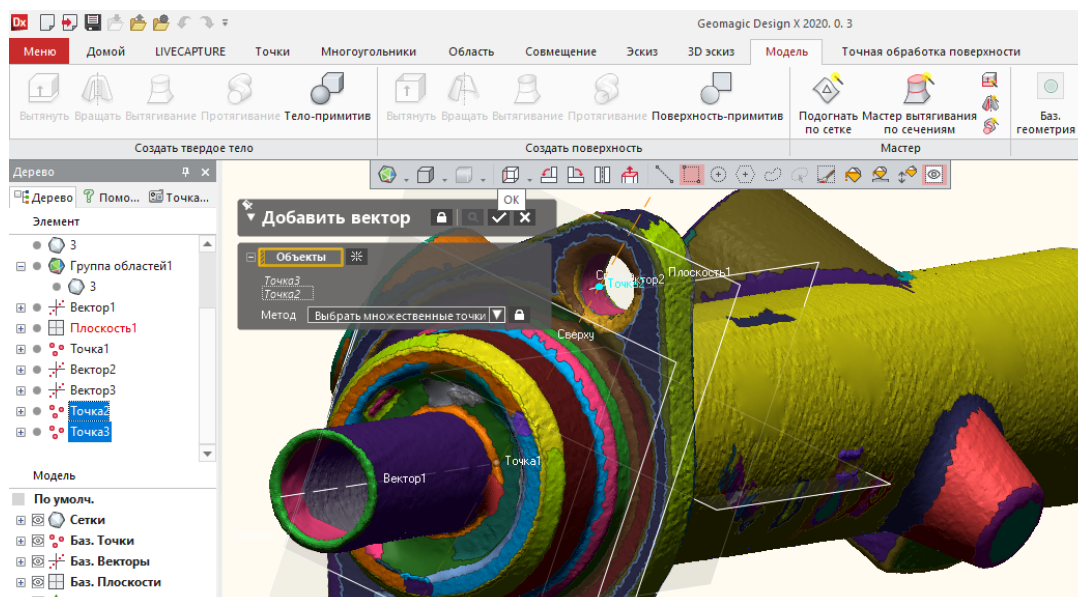


Рис. 40. Метод *Выбрать множественные точки*

Снова переходим в *Совмещение / Интерактивное Выравнивание / Далее*. Выбираем нашу базовую плоскость, теперь выбираем построенный вектор, и наша модель повернулась, а в расположении указываем первую точку, там же останется ноль у нас. Нажимаем *Применить*, и теперь наша модель выровнена в осях координат. И с ней уже удобно работать.

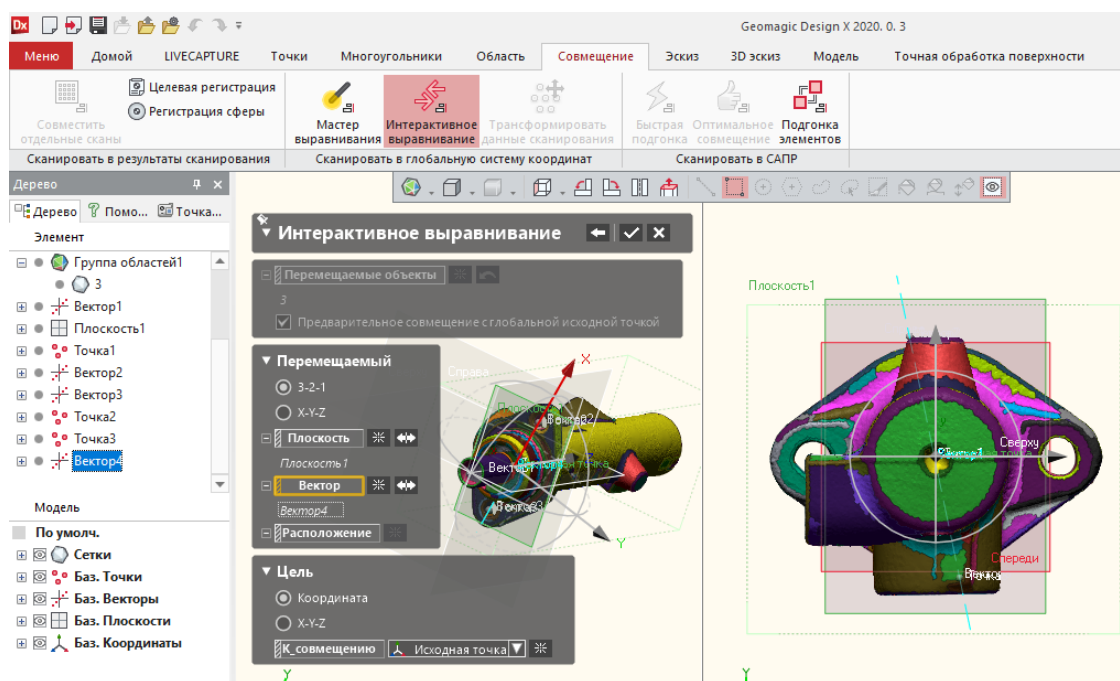


Рис. 41. Интерактивное выравнивание

Можно использовать различные вариации выравнивания в осях координат. Рекомендуется всегда начинать с построения базовых плоскостей, а после выравнивания построенную геометрию всю удалить, а потом уже при моделировании строить ее дополнительно, уже используя базовые плоскости, так будет правильнее.

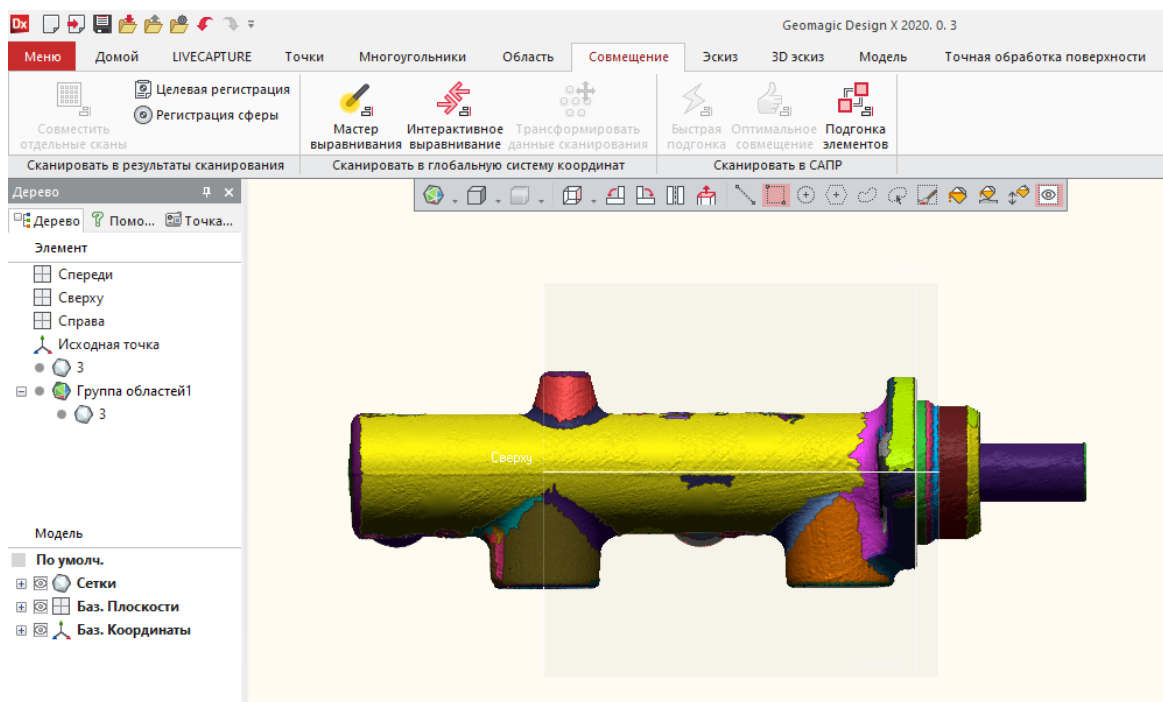


Рис. 42. Выравнивание в осях координат

ВОПРОСЫ

1. С чего нужно начинать работу по обратному проектированию?
2. Для каких целей проводят разбиение областей?
3. Как выполняется настройка базовых плоскостей?

ПОСТРОЕНИЕ ТЕЛА ОТЛИВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОПОВЕРХНОСТИ

Войдём во вкладку *Точная обработка поверхности* и нажмём на клавишу *Автоповерхность*, здесь выберем *Механическую деталь*, далее нужно выбрать *Острые ребра* и указать их на детали. Они подсвелятся голубым цветом. Остальные настройки оставляем без изменений. Вам необходимо построить все элементы и вычесть те элементы, которые отвечают за отверстия.

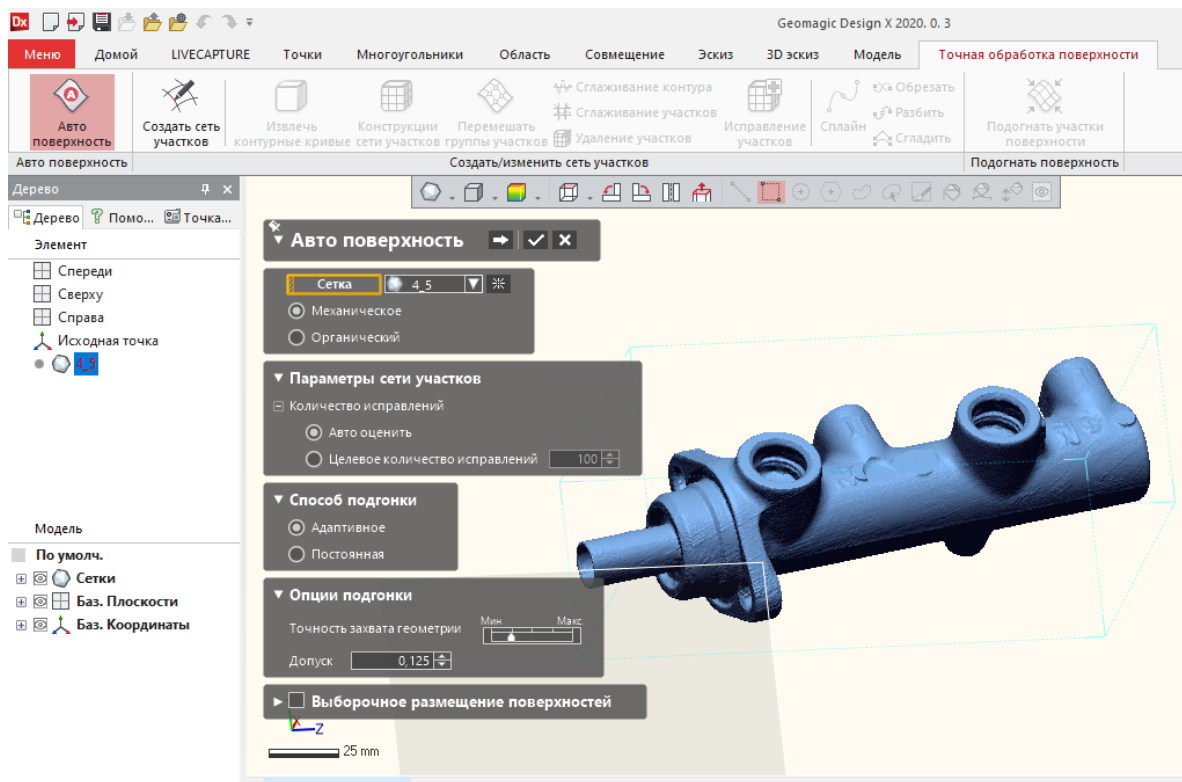


Рис. 43. Автоповерхность: сетка

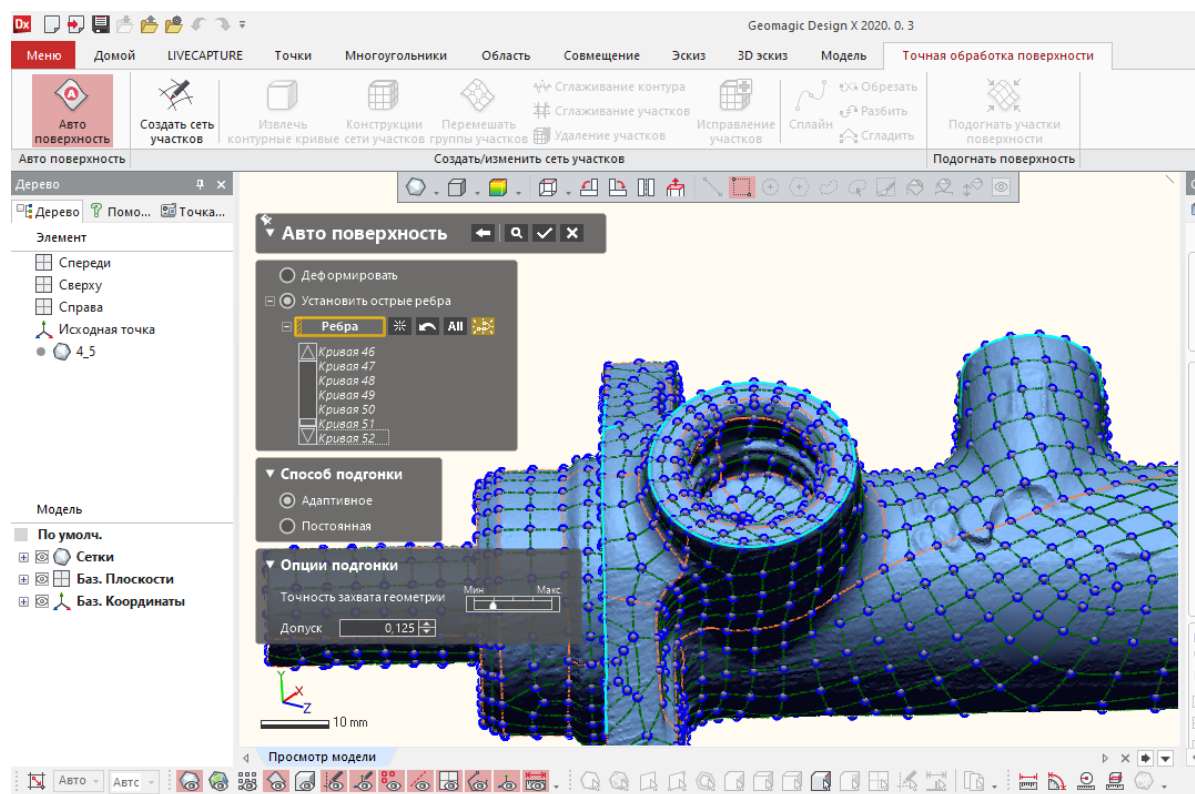


Рис. 44. Автоповерхность: ребра

ВОПРОСЫ

В каких случаях используют функцию *Автоповерхность*?

БАЗОВЫЕ ФУНКЦИИ РАБОТЫ С ЭСКИЗОМ, ПОСТРОЕНИЕ ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ

Здесь мы разберём базовые элементы работы с эскизом и построим тело вращения.

Загружаем модель №4. Это скан автомобильного диска, выравниваем в осях и делим на области.

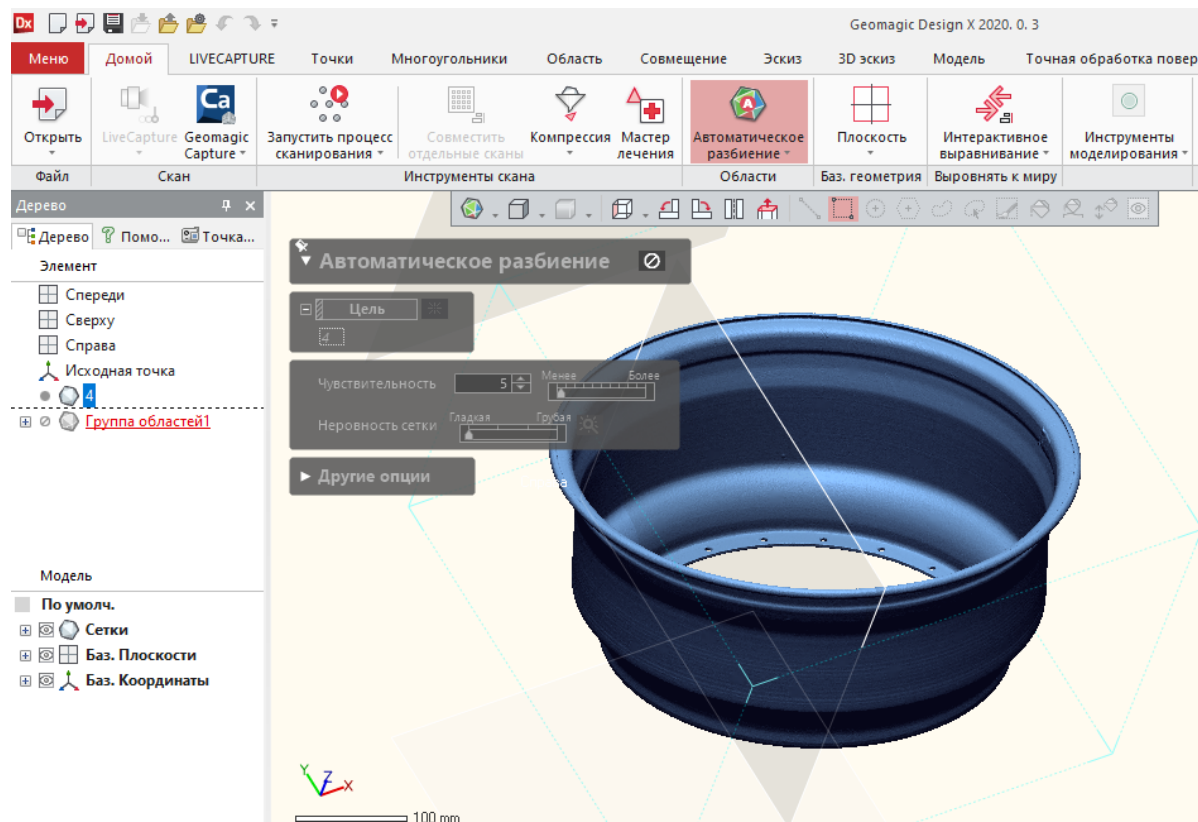


Рис. 45. Модель

Результат показан на рис. 45. Как выравнивать в плоскостях проекций, см. Урок № 3. Находим вектор пересечения двух базовых плоскостей *Сверху* и *Справа*, для этого переходим во вкладку *Модель* / *Базовая геометрия* / *Вектор*, выбираем плоскости, зажав клавишу *SHIFT*, метод предлагается автоматически *Метод пресечения 2 плоскостей*.

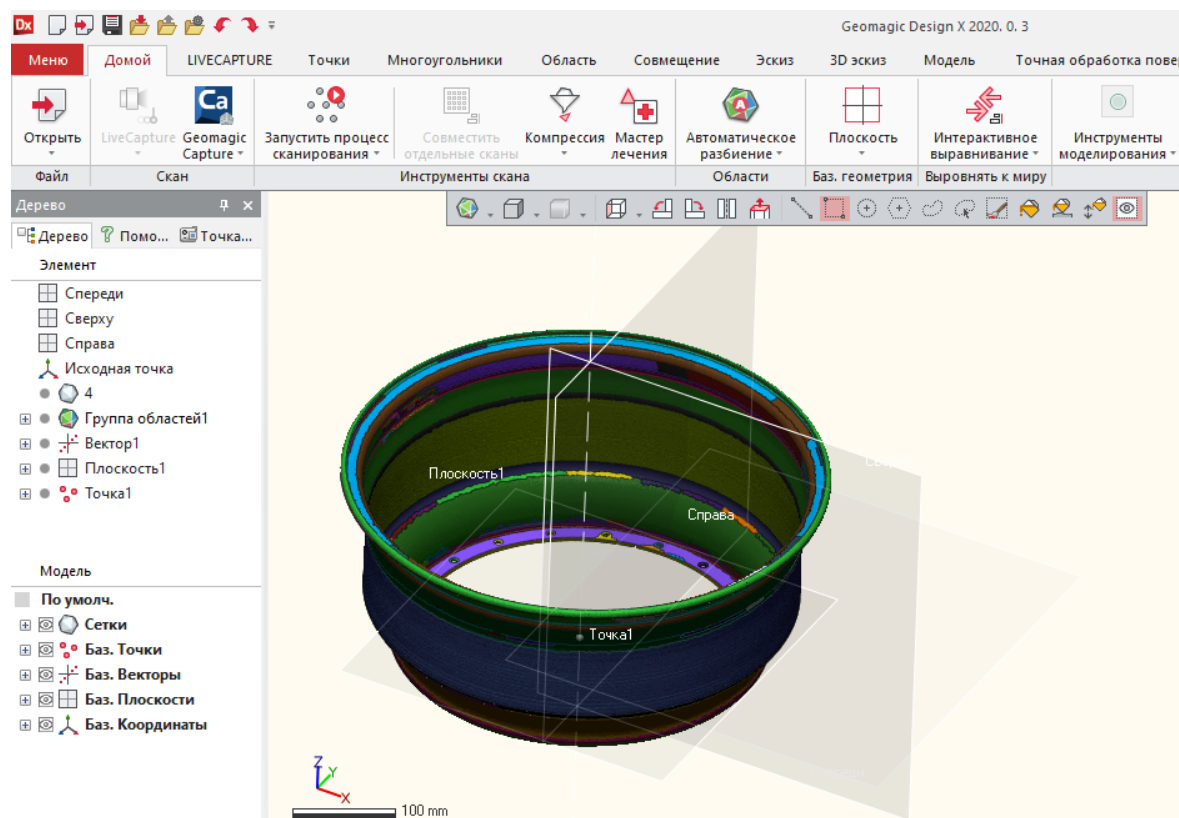


Рис. 46. Выравниваем плоскости

Далее во вкладке *Эскиз* выбираем *Эскиз по сетке*. Плоский метод строит эскиз в определенной плоскости, для этого выбираем плоскость, и программа извлекает точки модели в данной плоскости и автоматически показывает, какой эскиз будет построен. Мы можем уменьшать и увеличивать область построения, потянув за цветные точки, также можно выбрать расстояние смещения от выбранной плоскости либо вводя цифры с клавиатуры, либо потянув за синюю стрелку. Таким образом, мы смещаем область эскиза, который будет построен в нашей базовой области. Также мы можем указать диапазон силуэта, он будет выбирать все точки в указанном диапазоне. Применяем *Эскиз*.

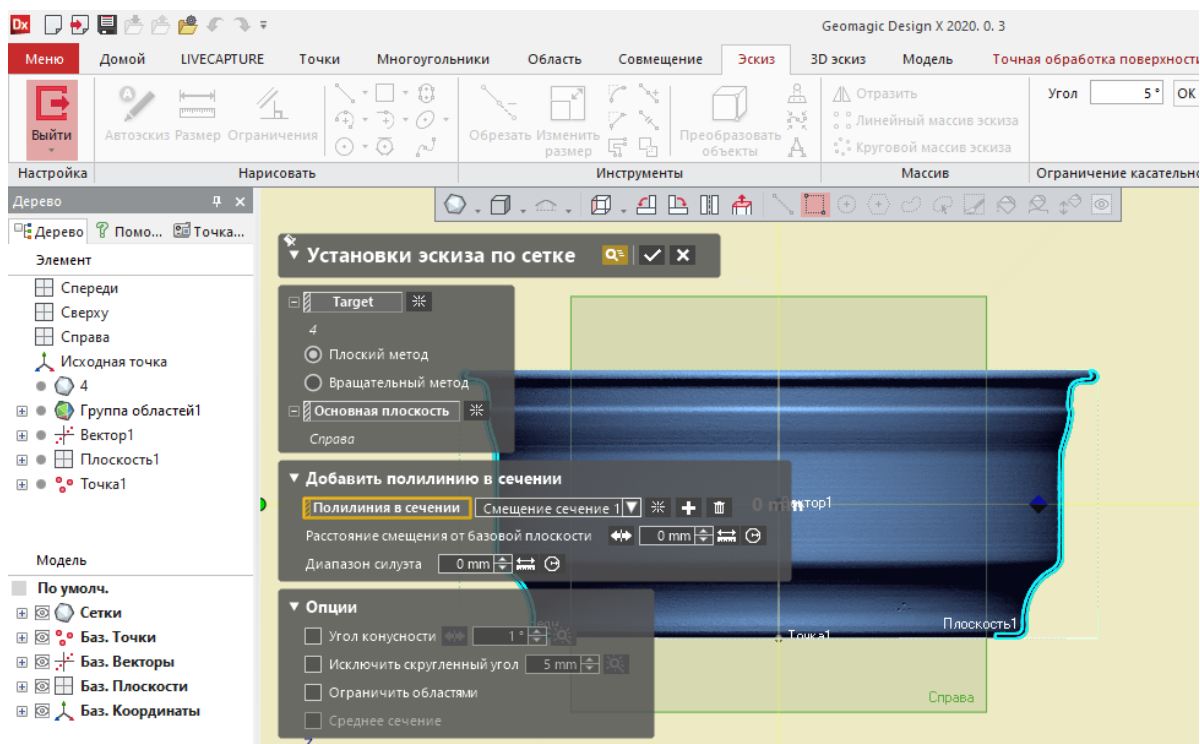


Рис. 47. Установки эскиза по сетке

В фильтрах отключаем видимость тела. Наверху в панели инструментов появляются инструменты работы с эскизом. Отменяем действия.

Рассмотрим, как работает вращательный метод. Указываем центральную ось и основные плоскости, далее задаем диапазон силуэта.

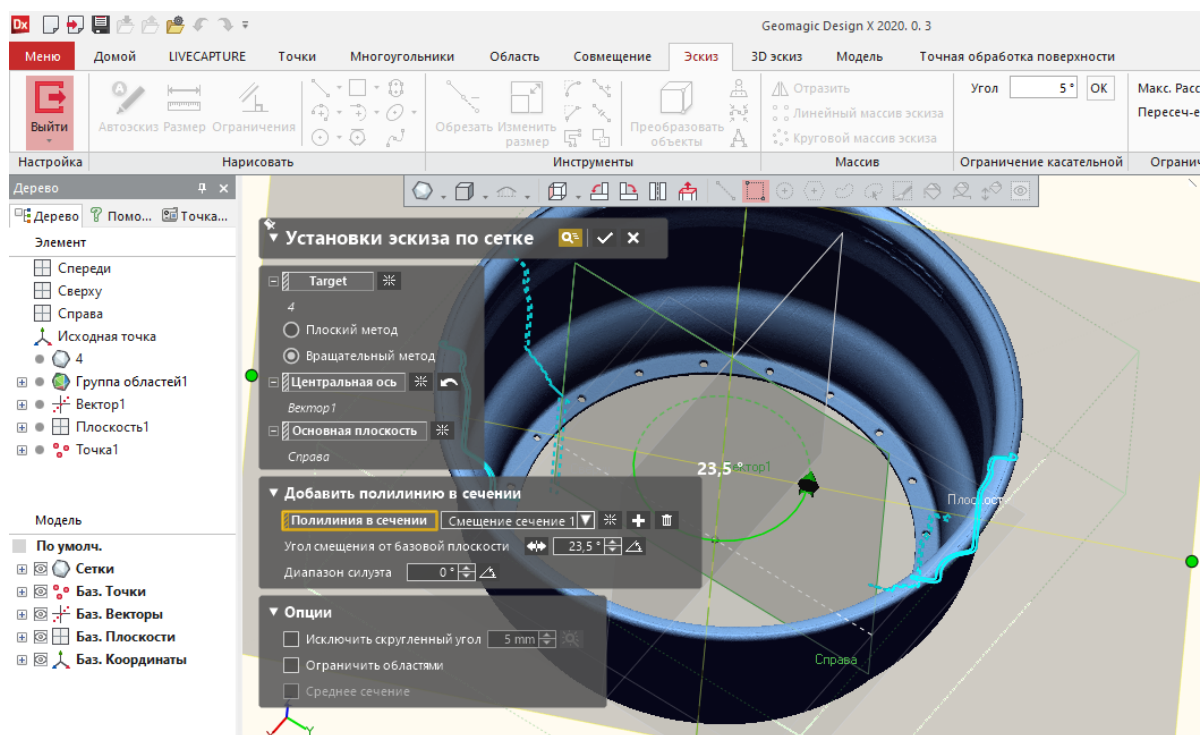


Рис. 48. Центральная ось и основные плоскости

Снова выбираем *Плоский метод* и применяем *Эскиз*, выключаем *Видимость модели*.

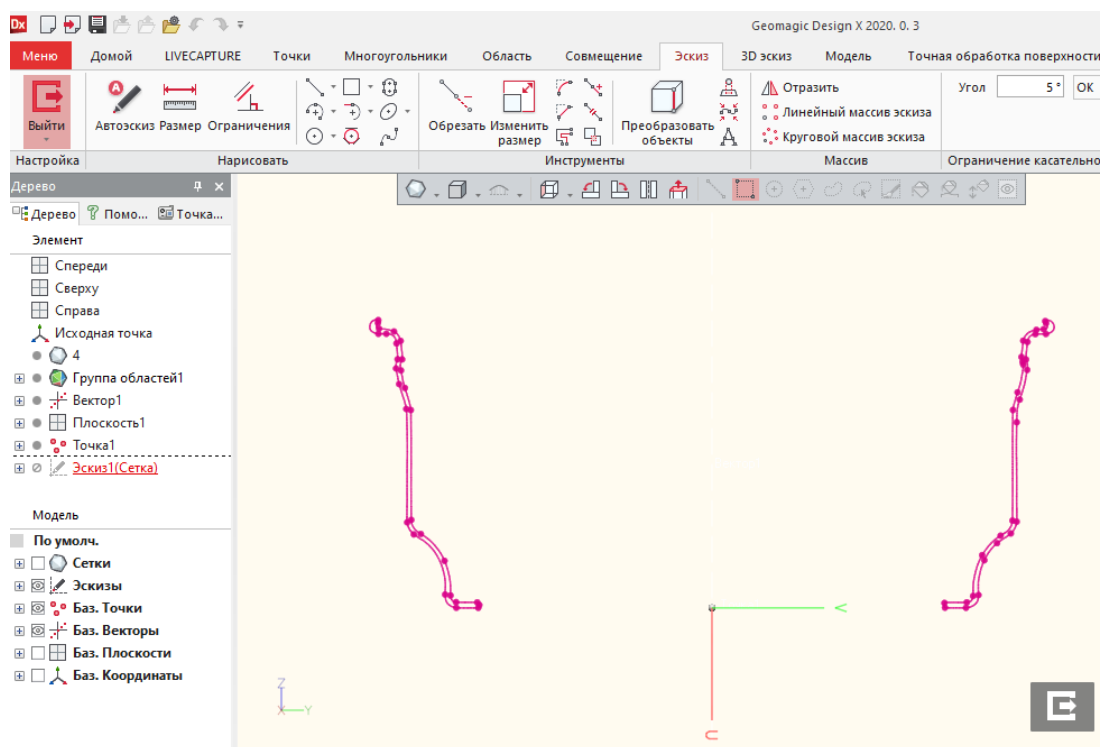


Рис. 49. Выключаем видимость модели

При нажатии на кнопку *Эскиз по сетке* мы можем автоматически обрисовать извлеченный эскиз, эта функция применяется для быстрого построения.

Ознакомимся с функциями ручного построения.

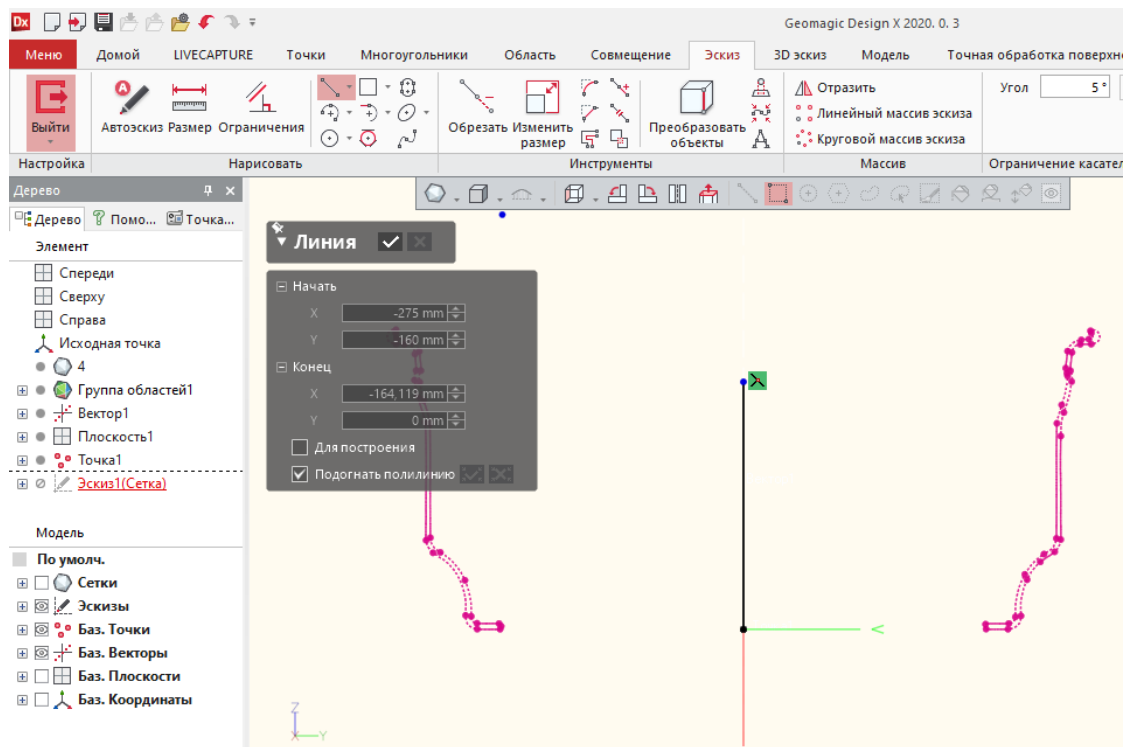


Рис. 50. Ручное построение

Ограничения геометрии / Параметризация эскиза. Функция преобразования используется, когда уже есть какое-то твердое тело и нужно преобразовать какую-то его грань, точку в элемент текущего эскиза, либо элемент другого эскиза в текущий.

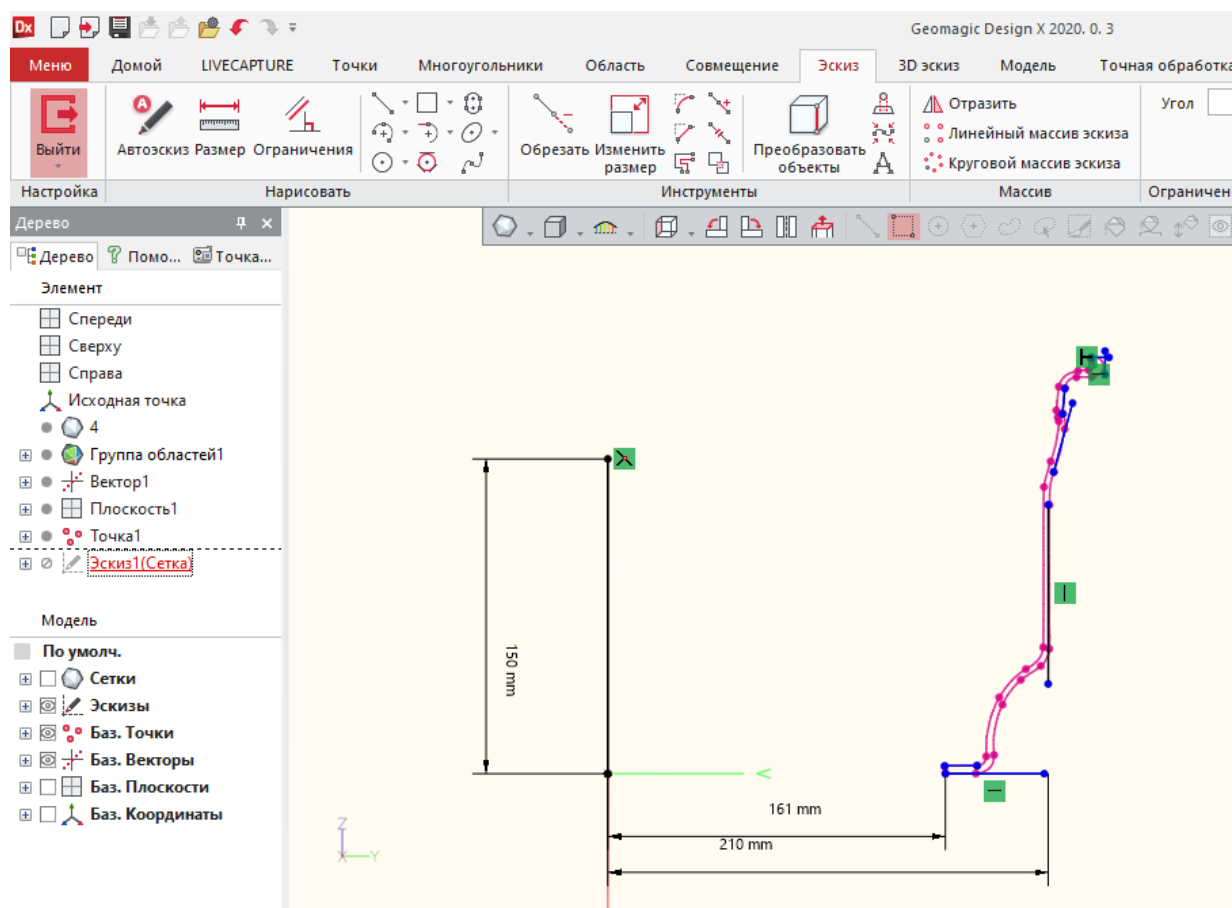


Рис. 51. Параметризация эскиза

При помощи инструмента *Линия* строим вертикальную линию из 0 координат, без указания размеров, применяем. Черный цвет обозначает, что у элемента есть ограничения. У начальной точки привязка к 0 координат. У линии также привязка к 0. Когда мы строим линию, желтым подсвечивается признак, он не является ограничением. При двойном щелчке на объект появляется возможность выбора ограничения. Зажав левую кнопку мыши и выбрав конечную точку, мы можем изменять длину линии, т. к. у нее есть ограничение вертикальности. Если мы зададим размер линии, то точка будет ограничена, и линия будет полностью определенной и никак нельзя будет ее переместить ни за один из элементов. Двойным щелчком по размеру возможно изменение длины линии.

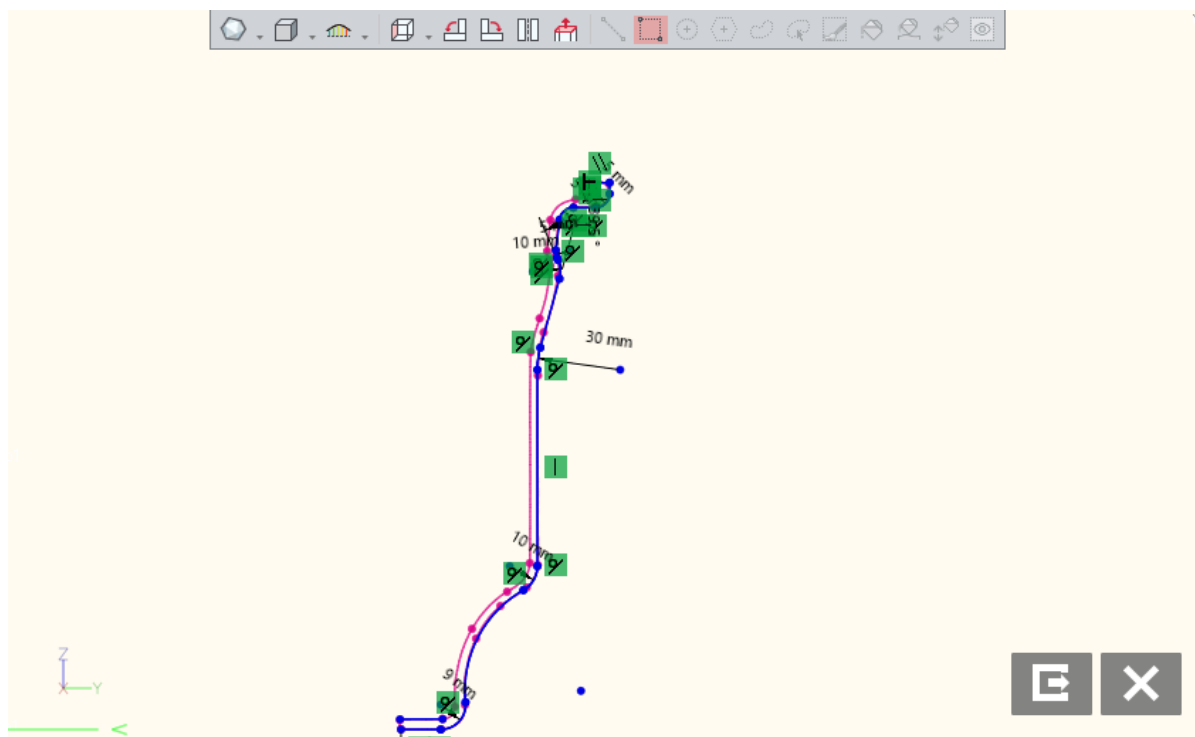


Рис. 52. Размеры

Зажав *CTRL* и ПКМ, можно перемещать эскиз в окне просмотра.

При нажатии на ту или иную функцию на нашем эскизе подсвечиваются только те части, которые программа воспринимает как элемент.

Галочка *Подогнать полилинию* автоматически строит линию по эскизу.

Обрисовываем эскиз при помощи линий. Далее задаем горизонтальность линии, указанной на рис. 51, и задаем размер от оси 161 мм.

Дважды нажав ЛКМ на одной элементе, затем на втором, мы можем указать ограничения для этих двух конкретных элементов.

Задаем вертикальность и размер 210.5 мм для линии (рис. 51).

Для вертикальных и горизонтальных линий программа автоматически предлагает задать размер от оси, а для наклонных – угол.

Строим наклонную линию, фиксируем ее и задаем размер, как показано на рис. 52.

Обрезаем лишние элементы.

Красным подсвечивается ошибка.

Строим дуги.

Затем делаем скругления, указав радиус.

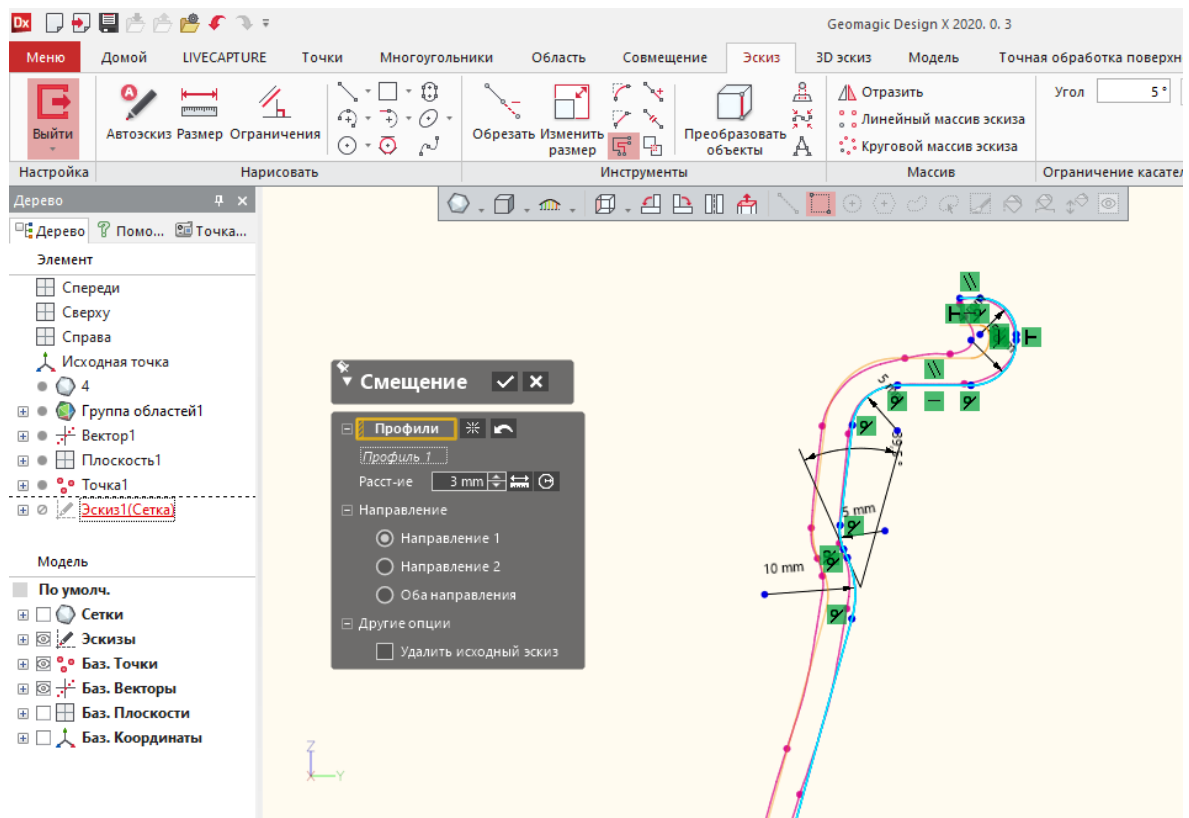


Рис. 53. Задаем размеры, обрезаем лишние элементы, строим дуги

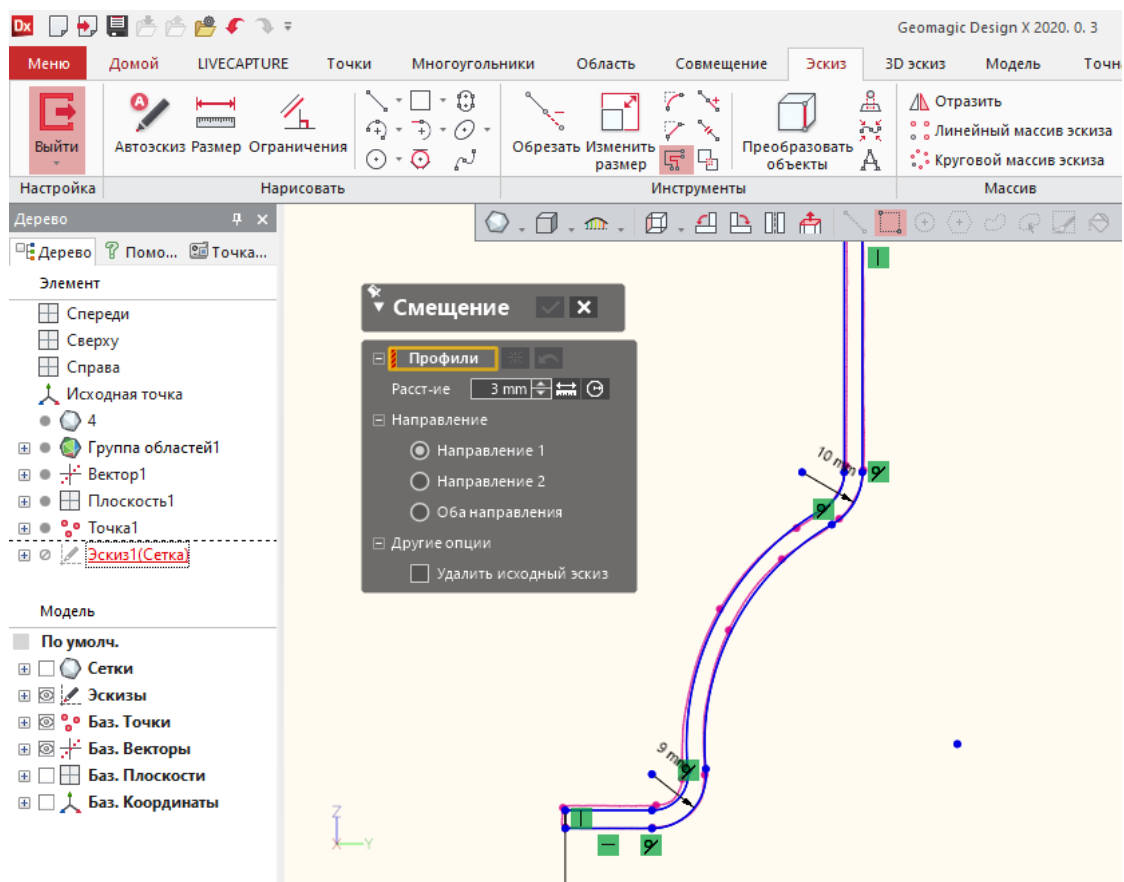


Рис. 54. Смещение

При помощи функции *Смещения* выбираем *Линию эскиза*, программа предлагает сместить на определенное расстояние, и *Направление*. Выбираем *Направление 2* и *Смещение 4 мм* и применяем.

Далее во вкладке *Свойства* нажимаем *Accuracy Analyzer*, ставим галочку *Незамкнутые контуры* и смотрим, где имеются разделенные элементы. Данная функция очень полезна, когда вы построили эскиз, но не можете его выдавить, вращать или построить твердое тело.

Замыкаем снизу линей, а сверху дугой со скруглением 0,75 мм.

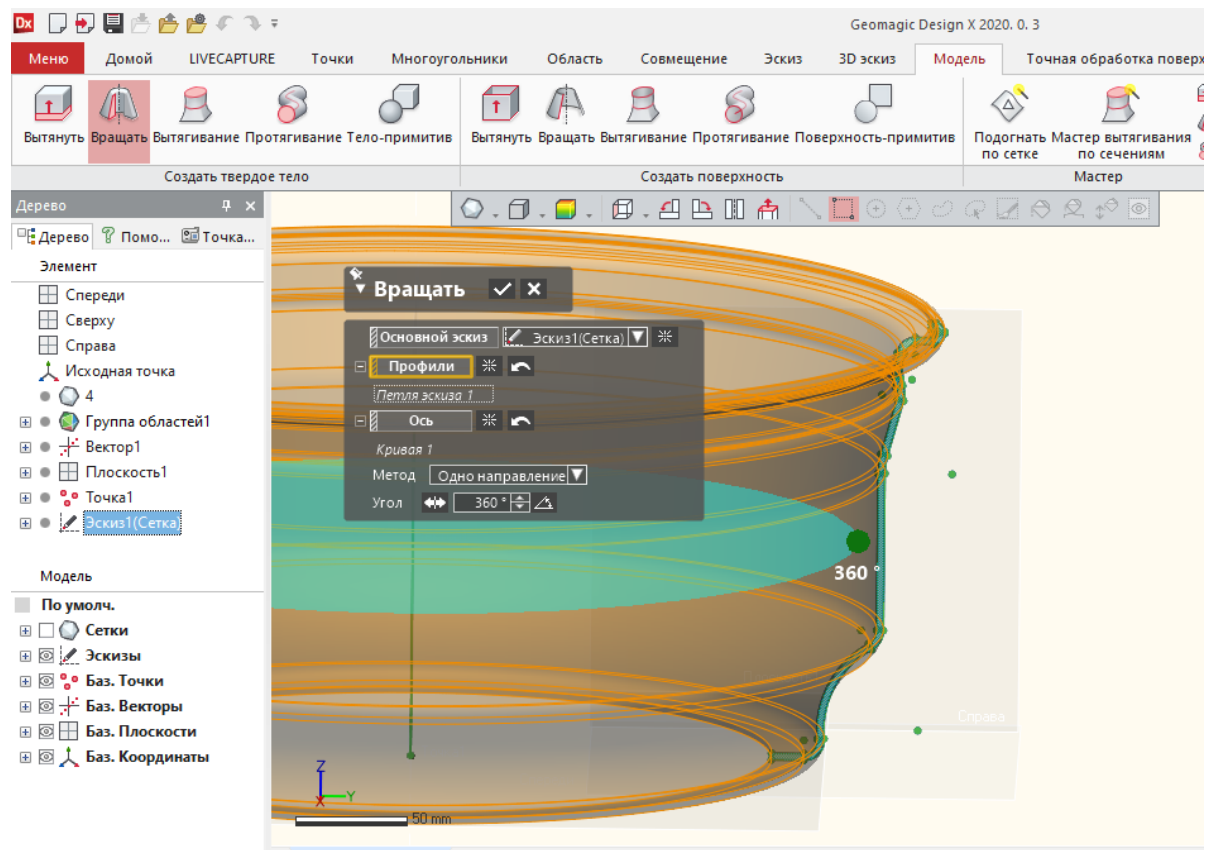


Рис. 55. Твердое тело

Выходим из эскиза, переходим во вкладку *Модель / Вращать*, выбираем наш профиль эскиза, ось вращения и градусы. Таким образом, у нас построилось твердое тело.

Для построения отверстий на ободе выбираем плоскость, как показано на рис. 55, переходим во вкладку *Эскиз* и плоским методом строим *Эскиз по сетке*, задав расстояние смещения от базовой плоскости 1 мм.

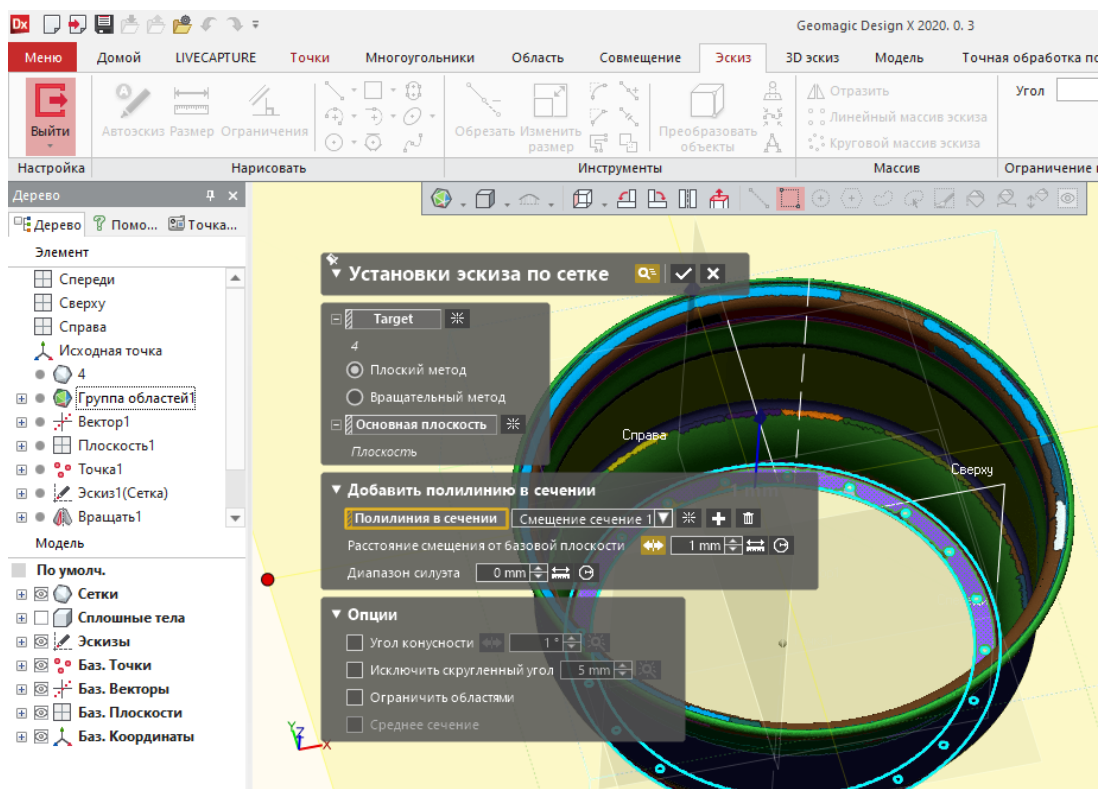


Рис. 56. Построение отверстий

Отключаем видимость твердого тела, выбираем любое отверстие. Строим окружность радиусом 3,15 мм. Указываем размер от центра 170 мм. Строим круговой массив, указав, что основания по X и Y 0 мм, выбираем в качестве объекта нашу окружность, число инстанций – 20, принимаем и заканчиваем эскиз.

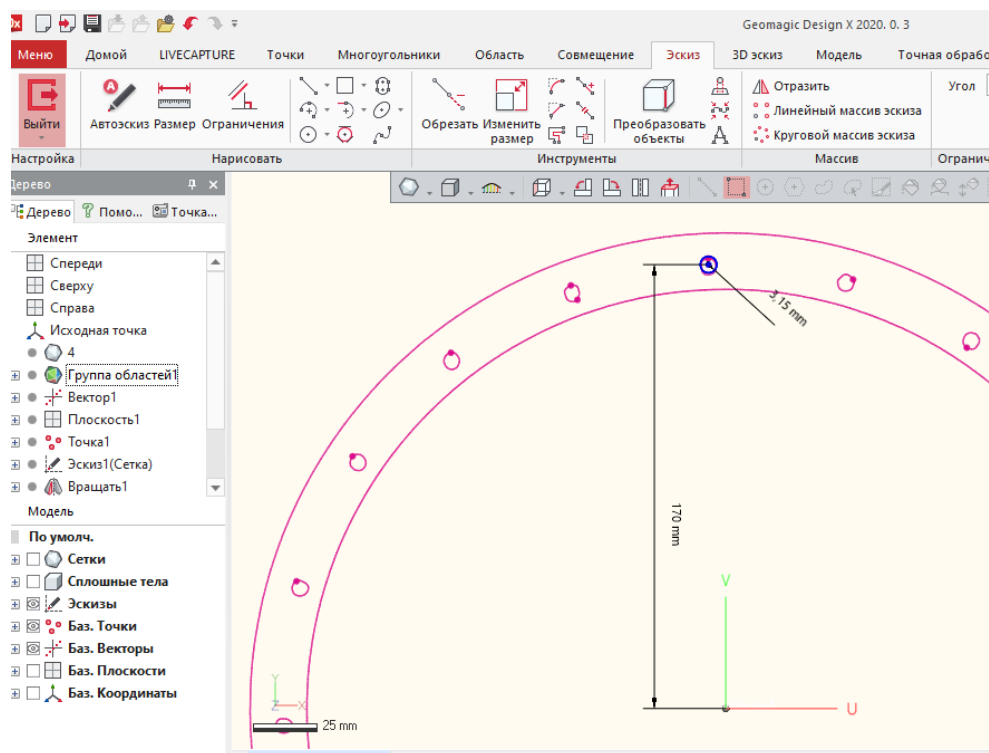


Рис. 57. Отключаем видимость твердого тела

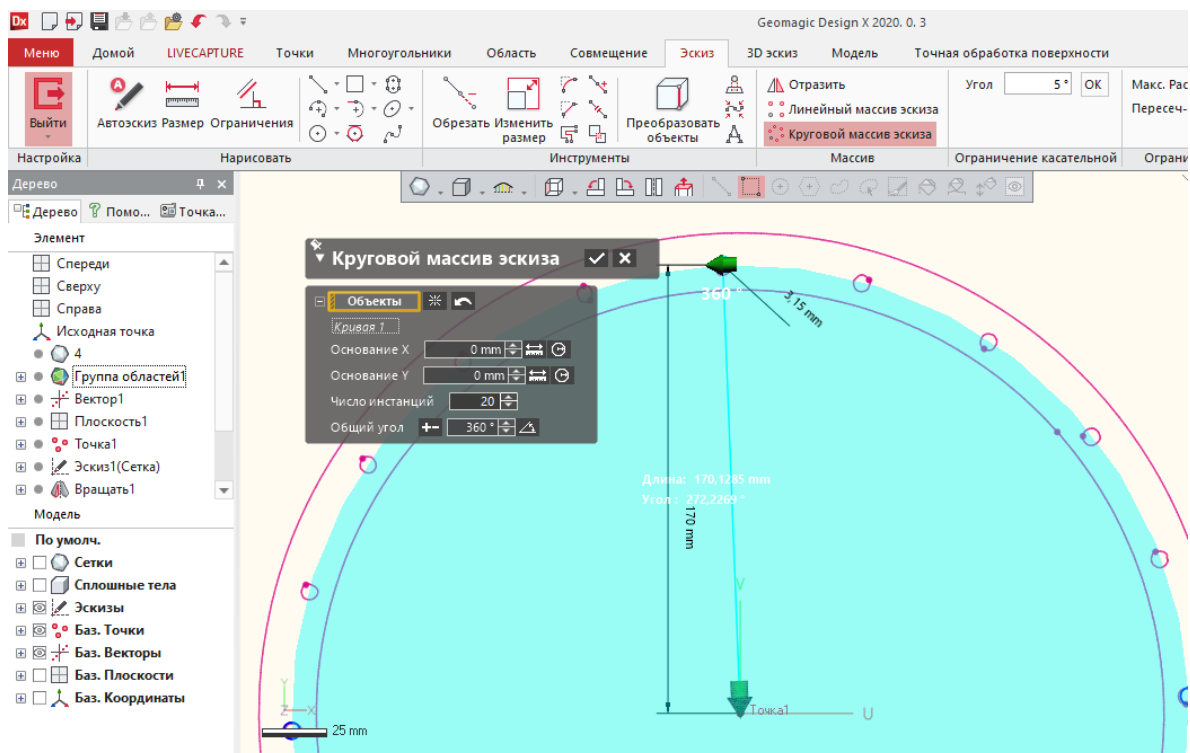


Рис. 58. Круговой массив эскиза

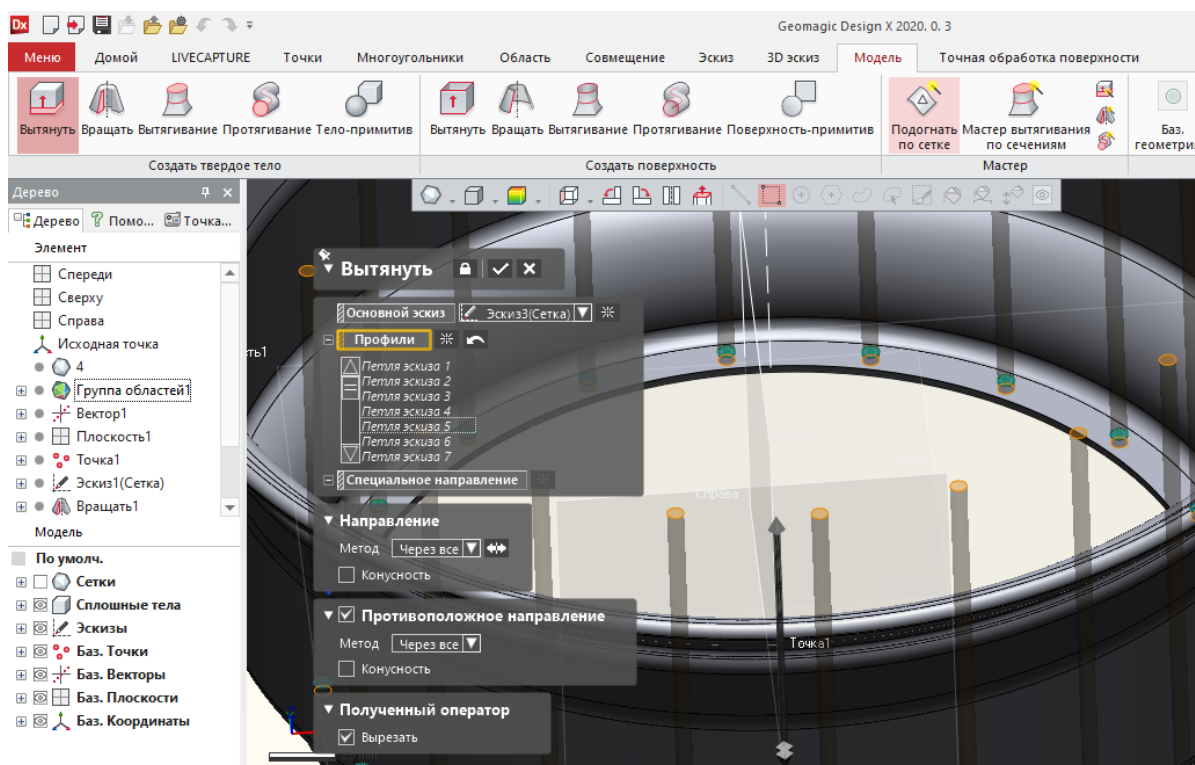


Рис. 59. Вытягиваем твердое тело

Включаем *Видимость модели*. Во вкладке *Модель* вытягиваем твердое тело, ставим галочку *Вытянуть*, метод через все в обоих направлениях.

Включаем видимость скана и сравниваем визуально. Затем смотрим отклонения для тела.

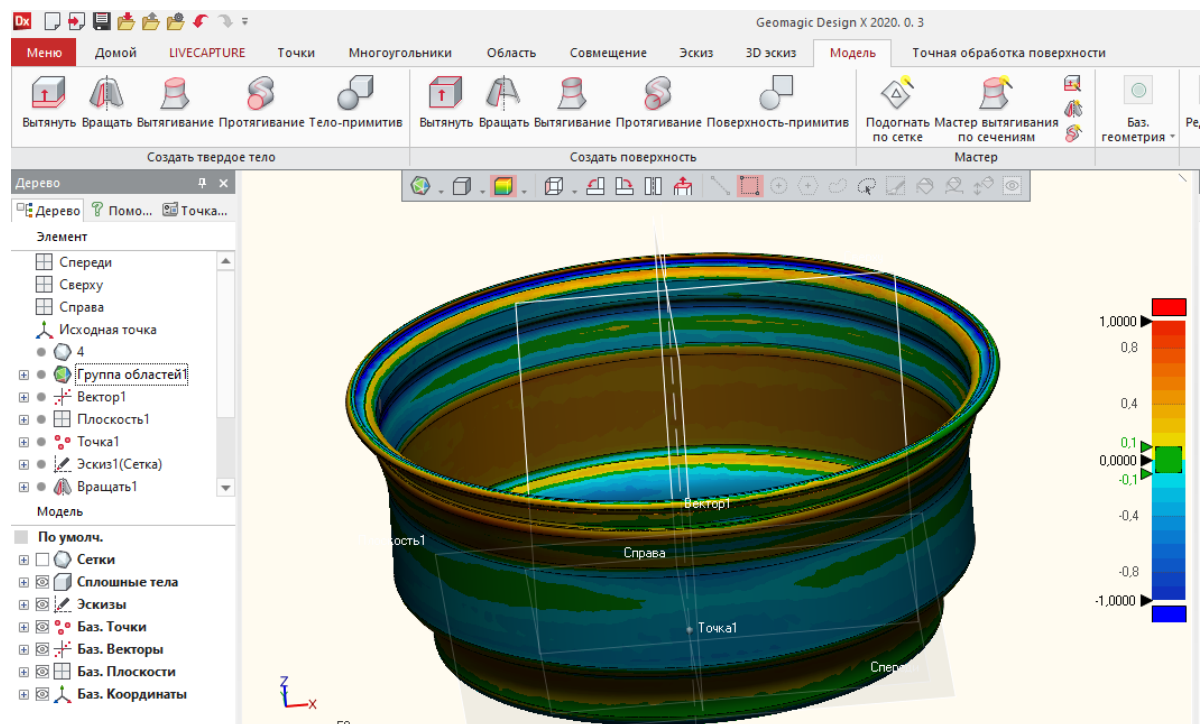


Рис. 60. Отклонения для тела

ВОПРОСЫ

1. Какой тип эскиза чаще всего используется при работе с программой Geomagic Design X?
2. Какие команды используются в уроке при построении эскиза?
3. С помощью какой команды были построены отверстия в диске?

ВЫРАВНИВАНИЕ БАЗОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

Выравниваем деталь в осях координат. Начнем с разбиения детали на области. Для это нажимаем *Автоматическое разбиение*, чувствительность сетки 3, гладкая. Отключаем видимость базовых плоскостей. Постоим дополнительную геометрию. Во вкладке *Область* выбираем плоскости, указанные на рис. 60, и объединяем, функцией *Разбить* выбираем плоскости, как указано на рис. 61.

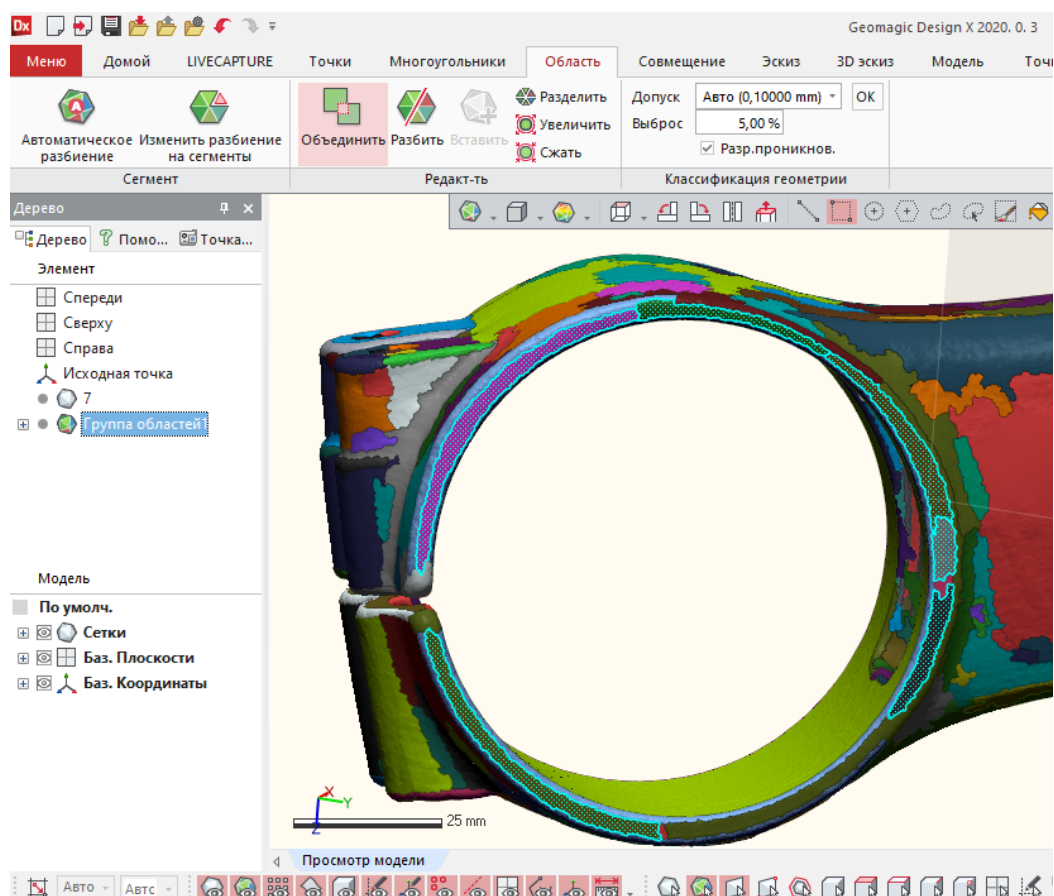


Рис. 61. Плоскости на модели

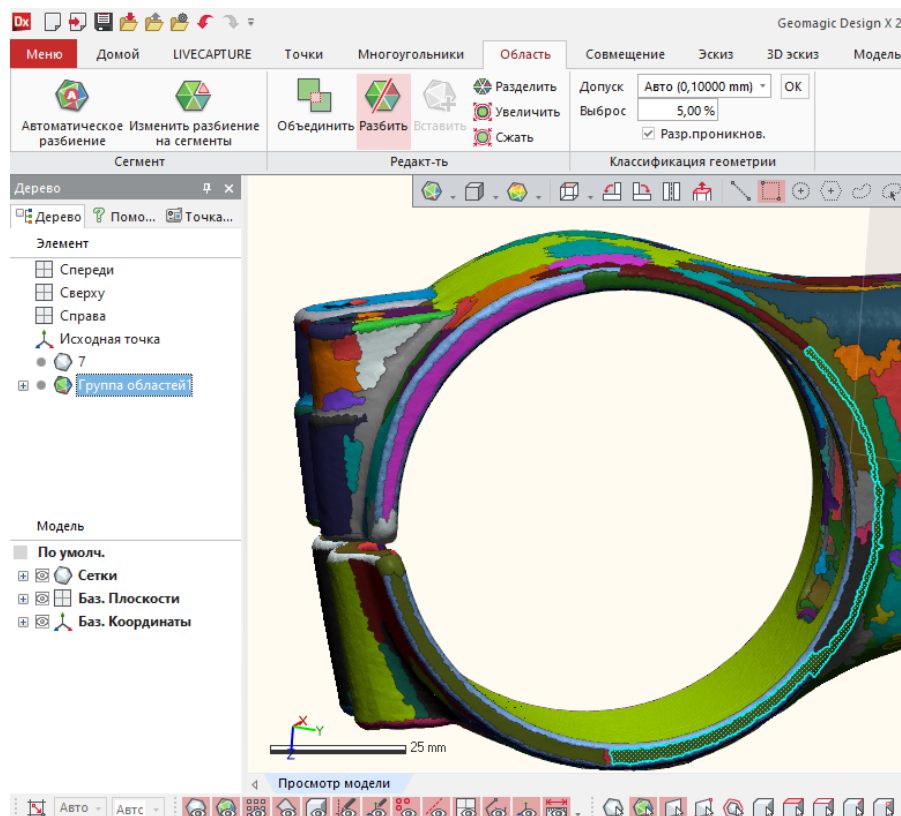


Рис. 62. Объединяем плоскости

Повторяем операцию с обратной стороны на противоположном конце детали. Продолжаем объединение, пока не получим окружность. Выбираем полученную плоскость, нажимаем *Сжать*, чтоб уйти со скруглений. Переходим во вкладку *Модель / Плоскость / Метод Извлечь*. Повторяем операцию для окружностей на рис. 62.

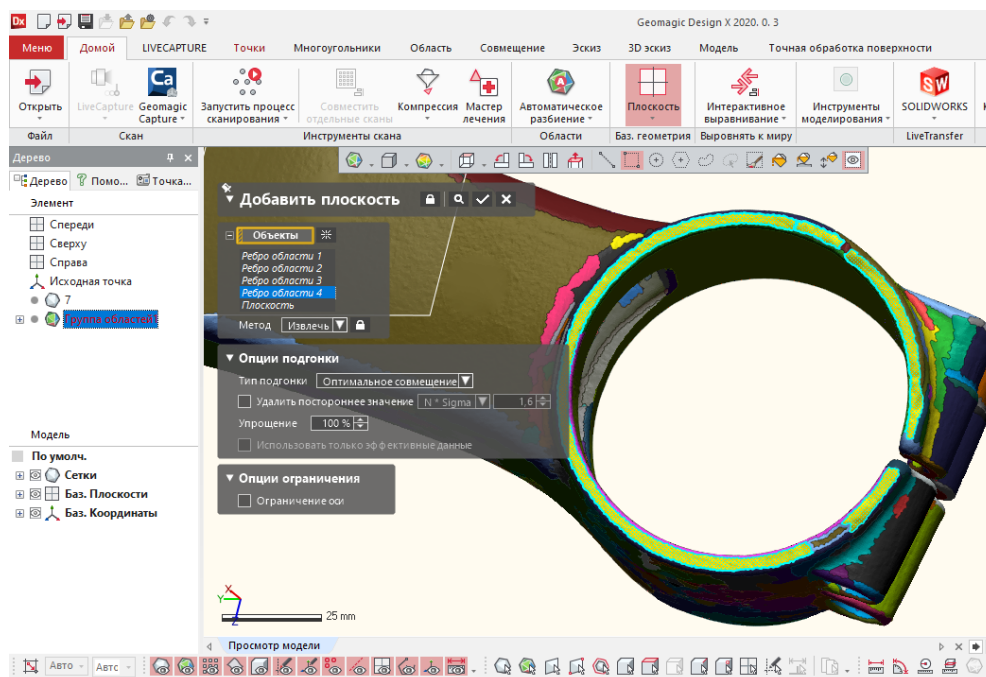


Рис. 63 Извлечь – добавляем плоскость

Т. к. сканер не может глубоко заглядывать в детали, а нам нужно построить ось цилиндра, то мы выберем *Цилиндр*, насколько он отсканирован с одной стороны, и с зажатой клавишей *SHIFT* с противоположной стороны функцией *Объединить* объединим в одну область. Теперь выберем эту область и перейдем во вкладку *Модель / Вектор / Объекты* и там выбираем метод *Найти ось цилиндра*.

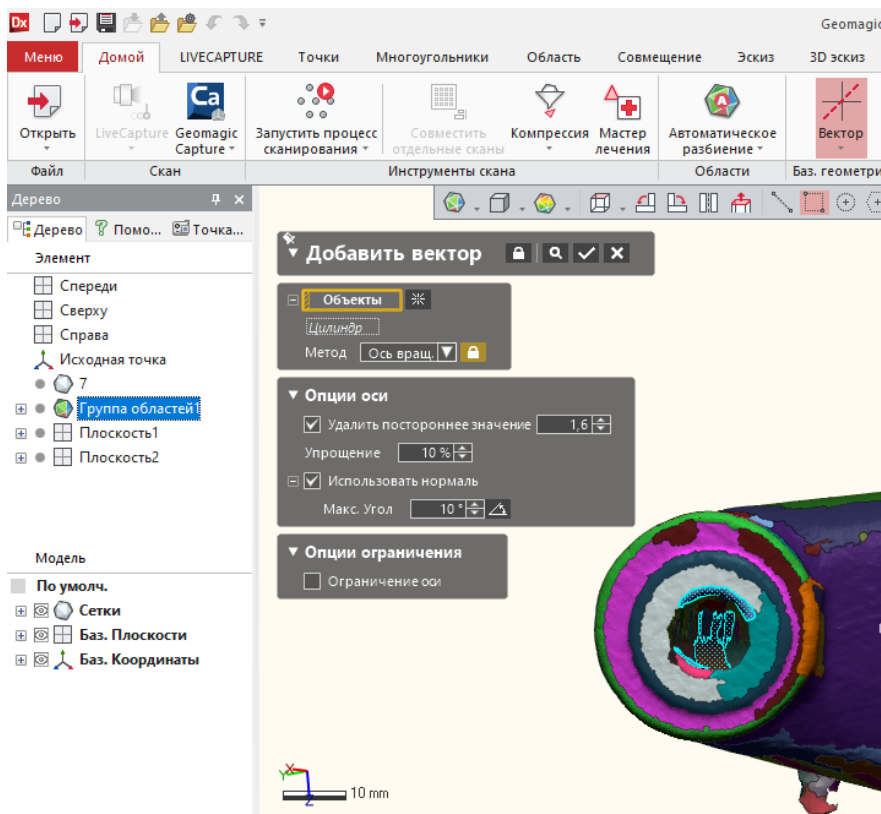


Рис. 64. Метод *Найти ось цилиндра*

Включаем *Видимость плоскостей*, в дереве отключаем базовые. Далее находим точку пересечения плоскости и с зажатой клавишей *SHIFT* вектора (рис. 64), выбрав *Метод пересечения линии и плоскости*.

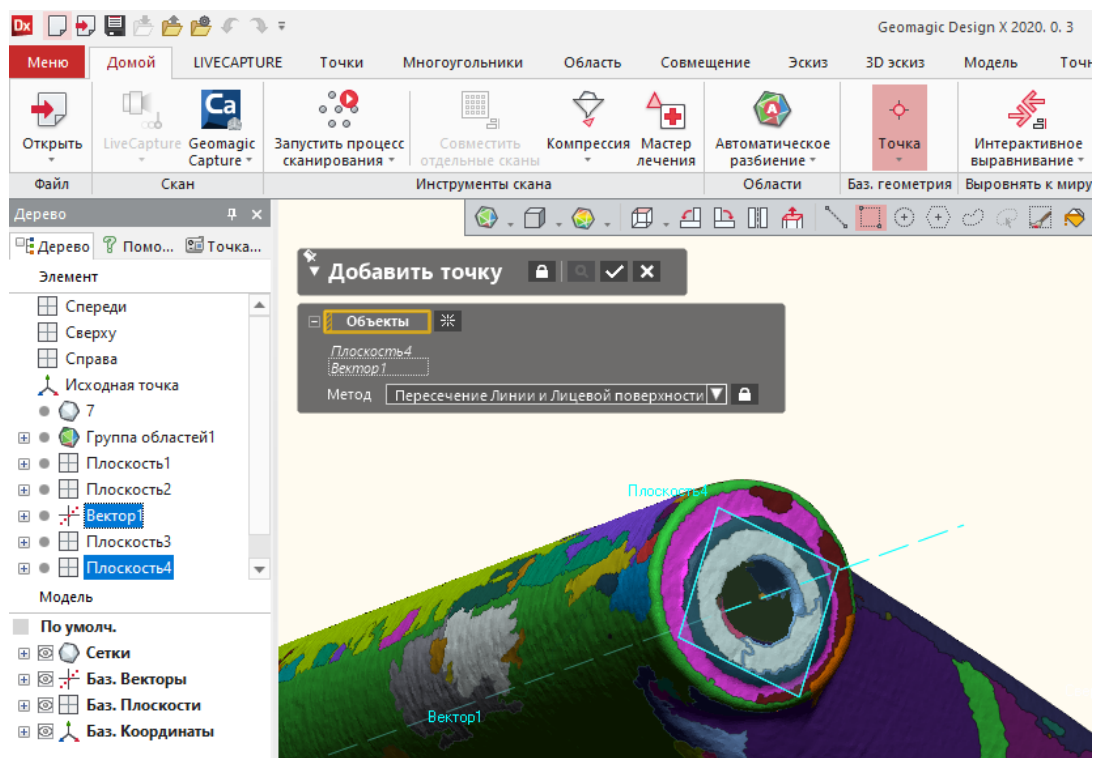


Рис. 65. Добавить точку

Строим точку вектор и плоскость 4. Переходим к креплению хаба, во вкладке *Область* выбираем *Цилиндр* и сжимаем его, находим вектор и точки на пересечении его с плоскостями.

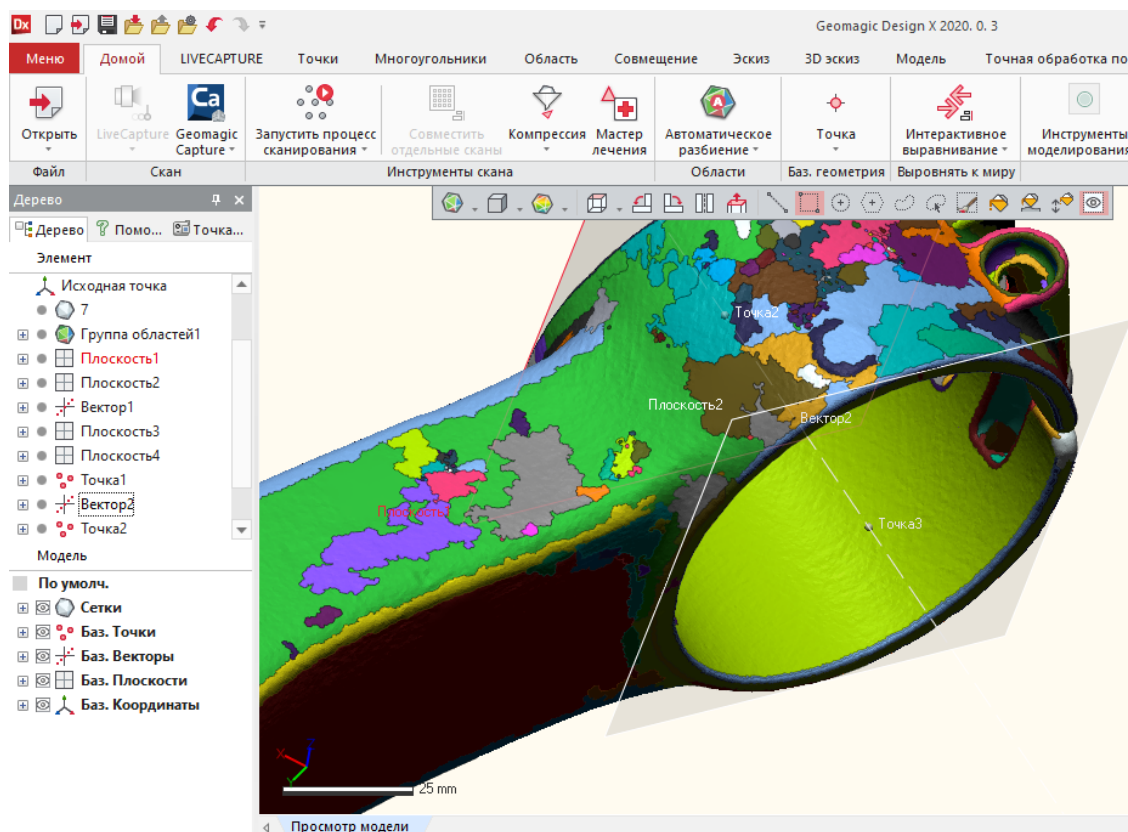


Рис. 66. Вектор и точки на пересечении его с плоскостями

Далее по полученным четырем точкам строим плоскость *Плоскость*, выбираем *Точки*, зажав *CTRL*. Выберем плоскости 3 и 4, найдем среднюю между ними при помощи функции *Плоскость*. Строим точку пересечения выделенных на рисунке вектора и плоскости, для это используем функцию *Точка*.

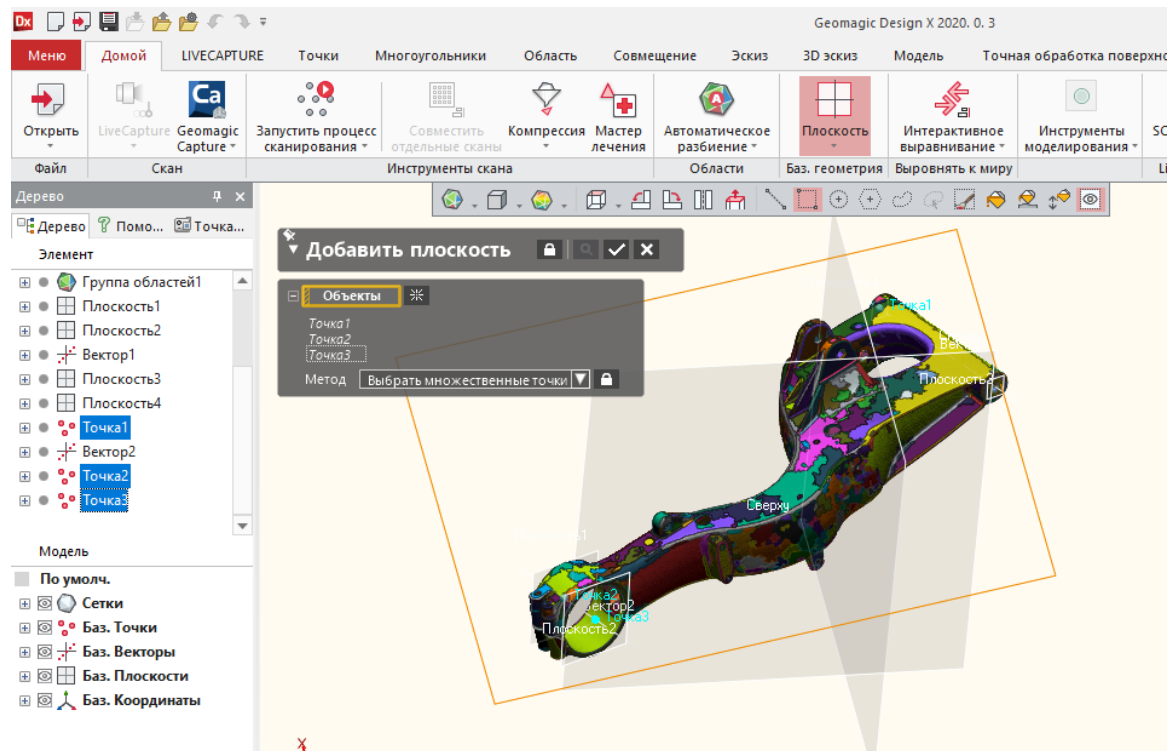


Рис. 67. Точка пересечения вектора и плоскости

Переходим во вкладку *Совмещение*, *Интерактивное выравнивание*, в качестве перемещаемого объекта выбираем *Маятник* и нажимаем далее, выбираем *Плоскость 6*, далее вместо вектора *Плоскость 5* и расположение – это точка 4, нажимаем *Принять* (рис. 68). Скрываем все области, базовые точки и векторы, отключаем видимость областей, включаем видимость базовых плоскостей, проверяем. Удаляем всю построенную геометрию.

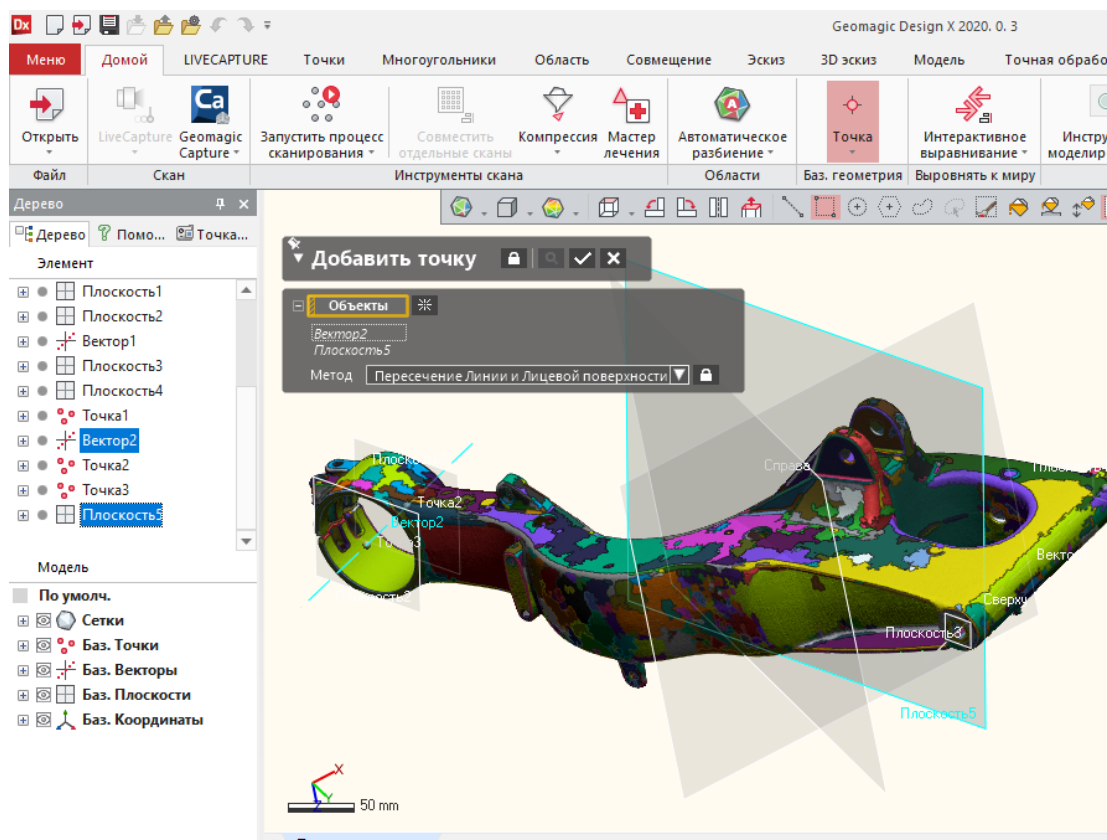


Рис. 68. Базовая плоскость

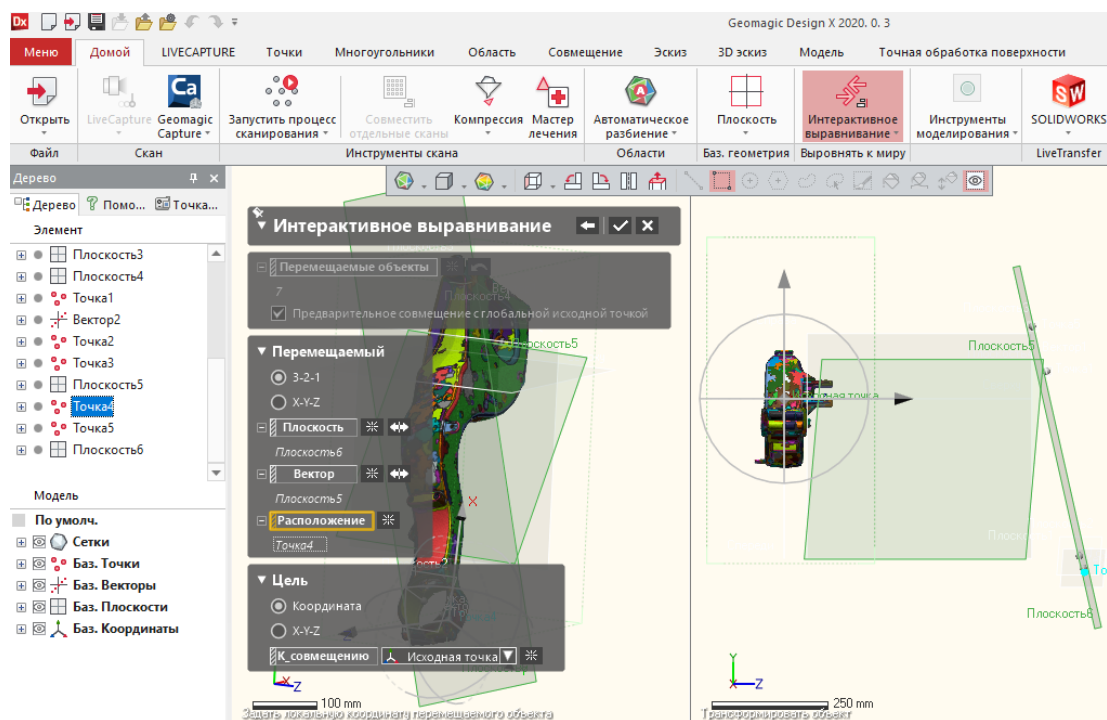


Рис. 69. Интерактивное выравнивание

Включаем видимость областей и убираем видимость базовых плоскостей, оставив плоскость *Сверху*.

Построим крепление хаба. Для начала с помощью инструмента *Измерение*, ставим *Совмещение по оси Y*, выбираем плоскость *Сверху* и *Окружность* на торцевой стороне крепления, как показано на рис. 69, принимаем.

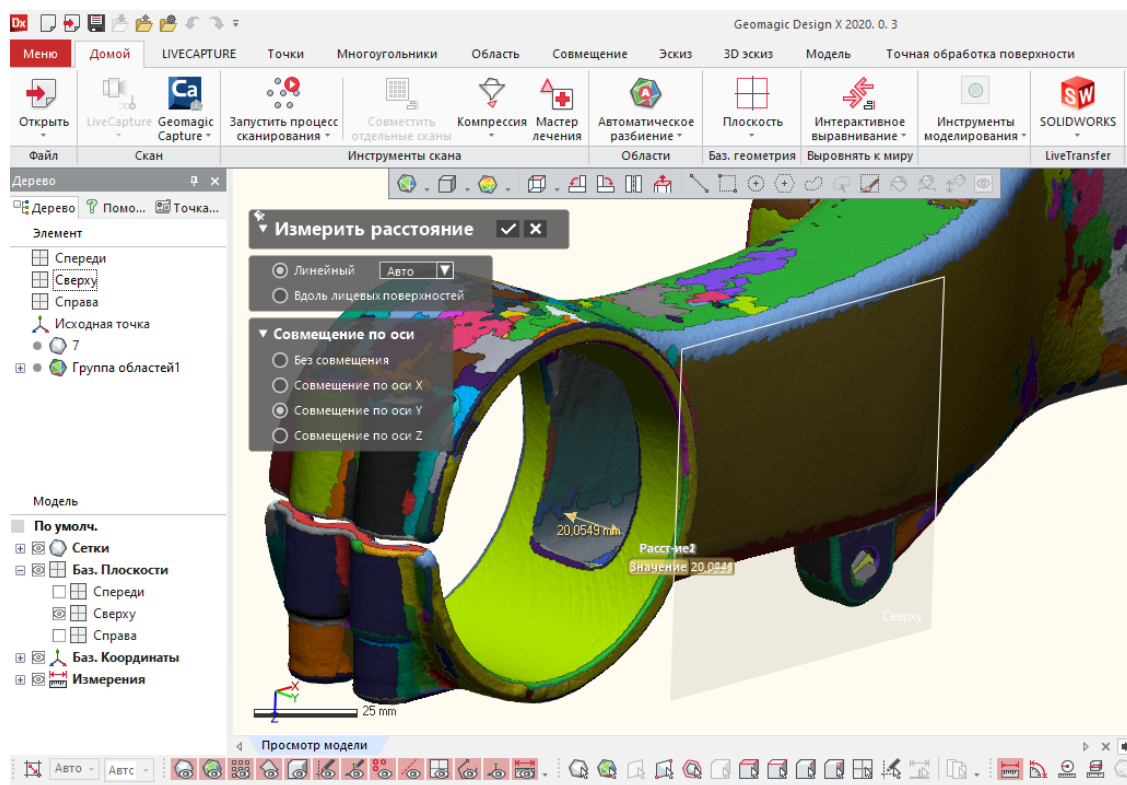


Рис. 70. Измерить расстояние

Переходим во вкладку *Модель*, строим плоскость, выбрав в качестве объекта *Плоскость сверху*, число смещений 1 и расстояние (– 20,06) мм, таким образом, мы построим плоскость, которая будет точно параллельна креплению.

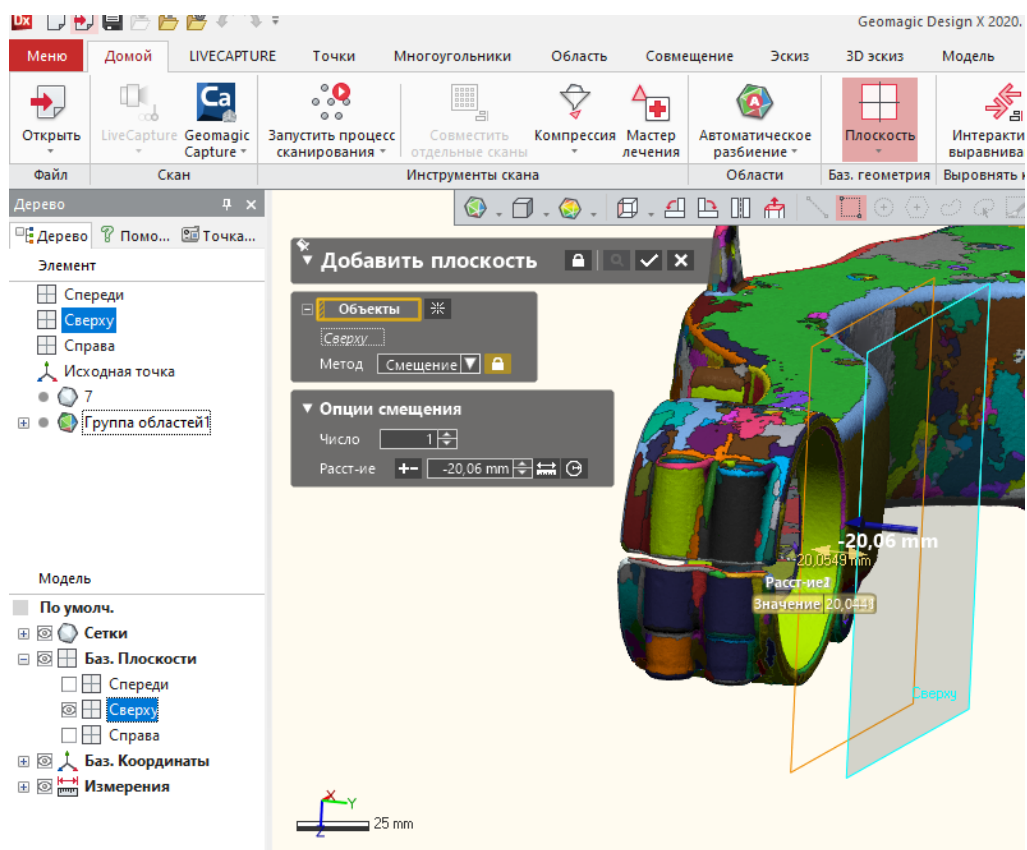


Рис. 71. Добавить плоскость

Убираем *Видимость измерений* и *Плоскости сверху*. Переходим во вкладку *Эскиз*, строим *Эскиз по сетке*, сдвигаем зону захвата на 3 мм вглубь детали и уменьшаем так, чтобы она захватывала только окружность.

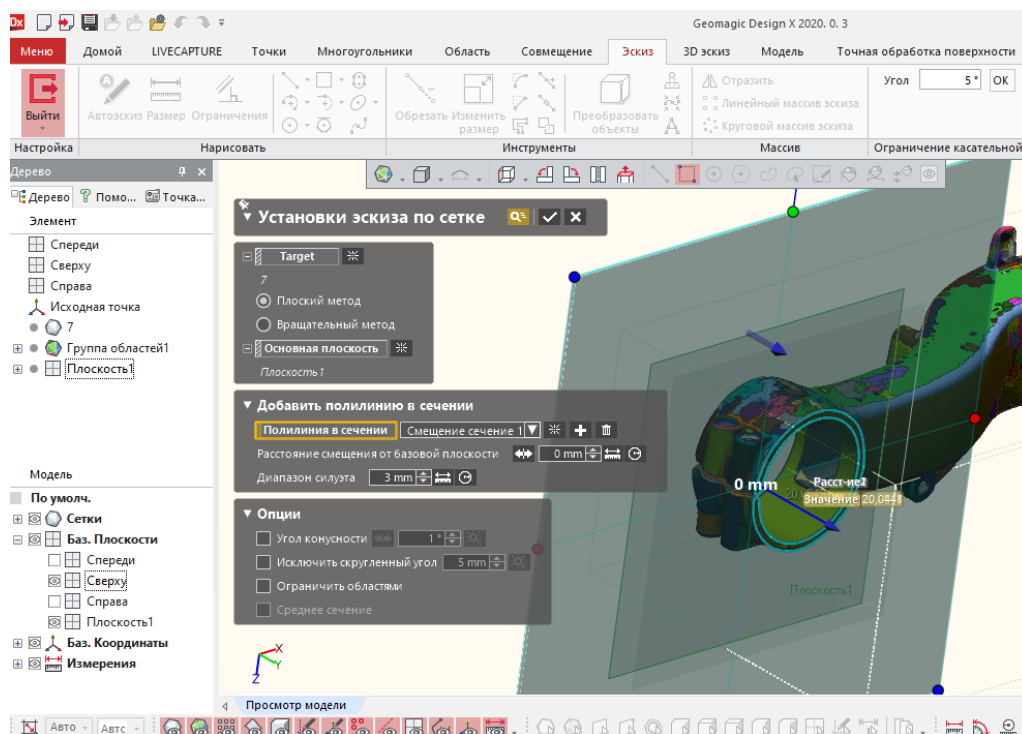


Рис. 72. Установки эскиза по сетке

Нажимаем кнопку *Нормаль* и отключаем модель. Т. к. у нас точка 0 находится на оси цилиндра, то можем построить окружность нужного размера, проставляем размер 42 мм, далее инструментом *Смещение* в направлении 1 смещаем нашу окружность на 5 мм и проставляем размер 47 мм.

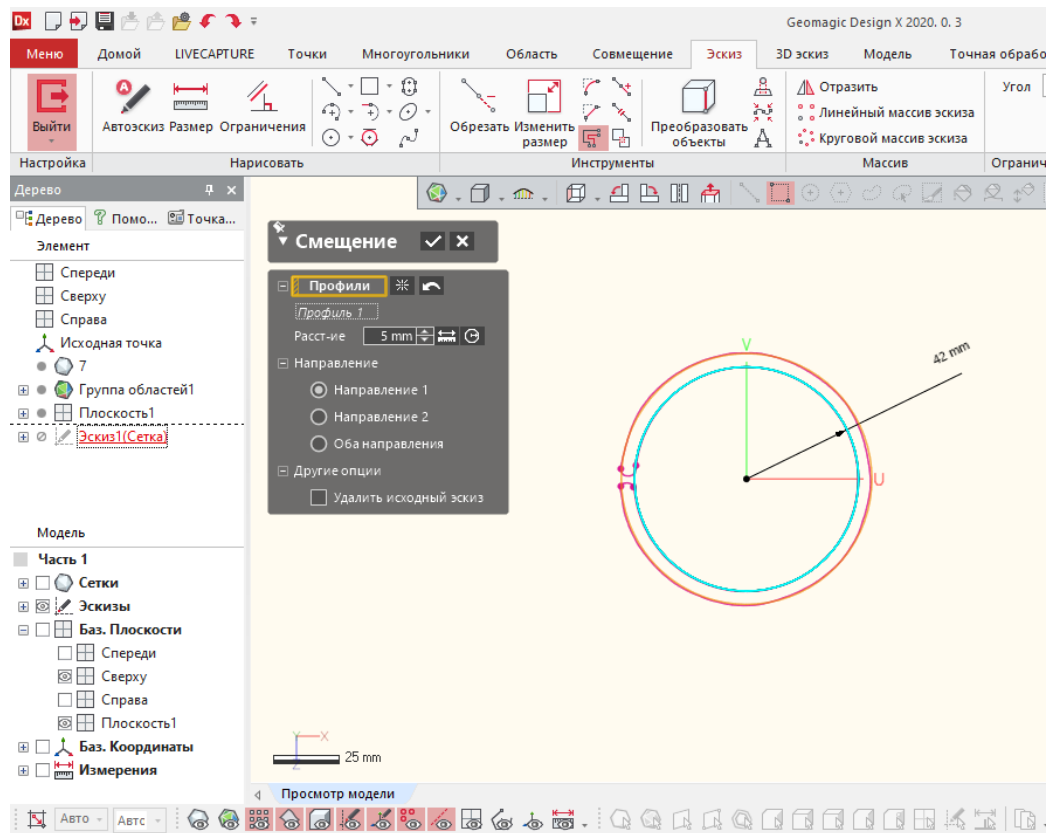


Рис. 73. Смещение

Следом проводим горизонтальную линию из центра, строим параллельно ей горизонтальные линии на эскизе, проставляем размер между ними, удаляем, запомнив значение, далее укорачиваем горизонтальную линию, оставив только между окружностями, и смещаем ее в обе стороны на половину от измеренного расстояния (1,15 мм), обрезаем окружности между линиями. Выходим из эскиза и включаем *Видимость модели*.

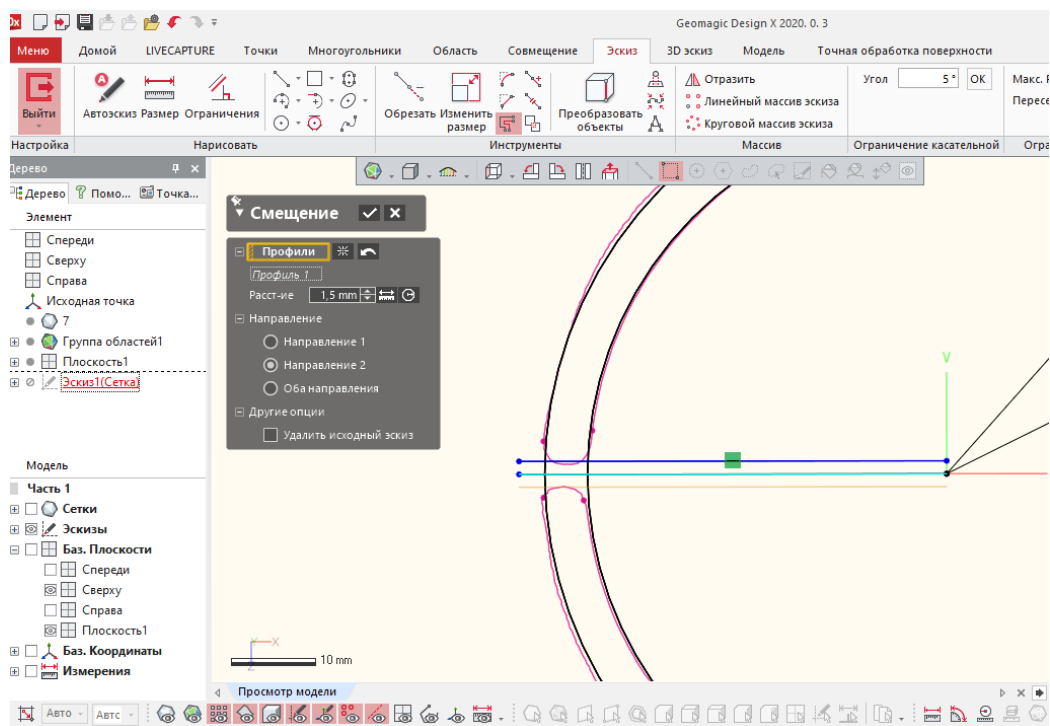


Рис. 74. Смещение

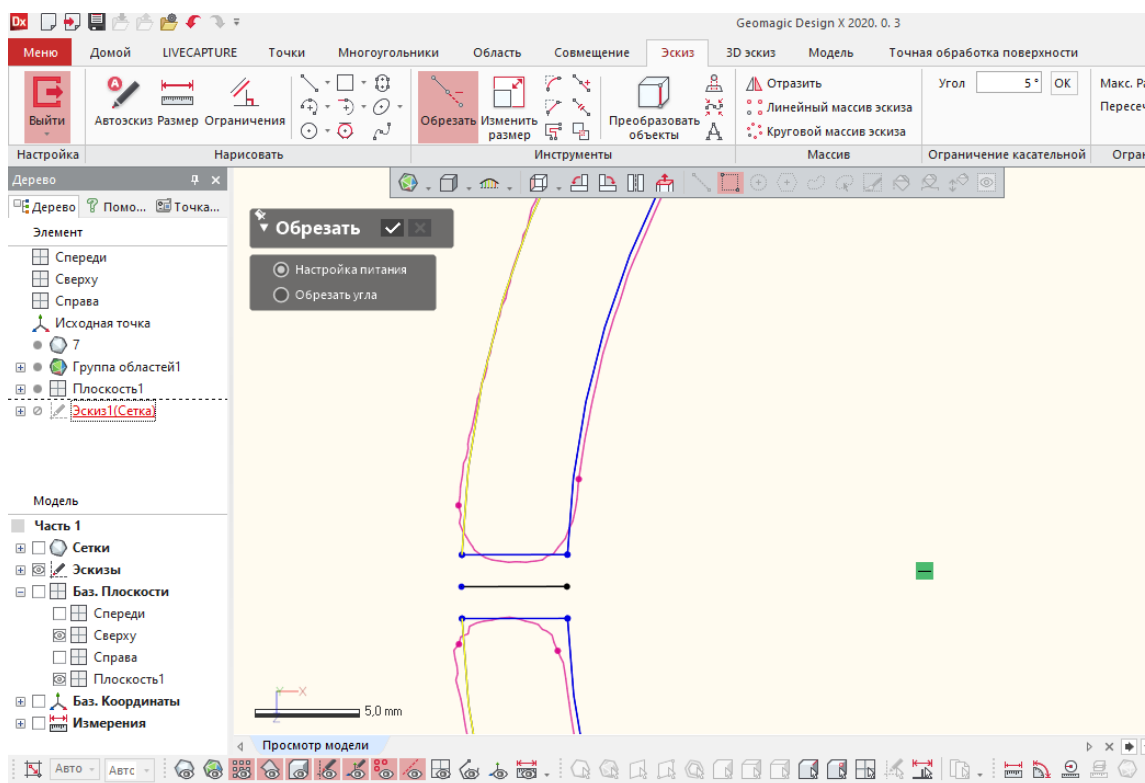


Рис. 75. Обрезать

При помощи инструмента *Измерение* выбираем наш эскиз и торцевую поверхность крепления с противоположной стороны. Во вкладке *Модель* вытягиваем наш эскиз на $(-56,3)$ мм. Выключаем *Видимость измерения* и

плоскости. Включаем *Видимость сплошных тел* и визуально проверяем полученное твердое тело.

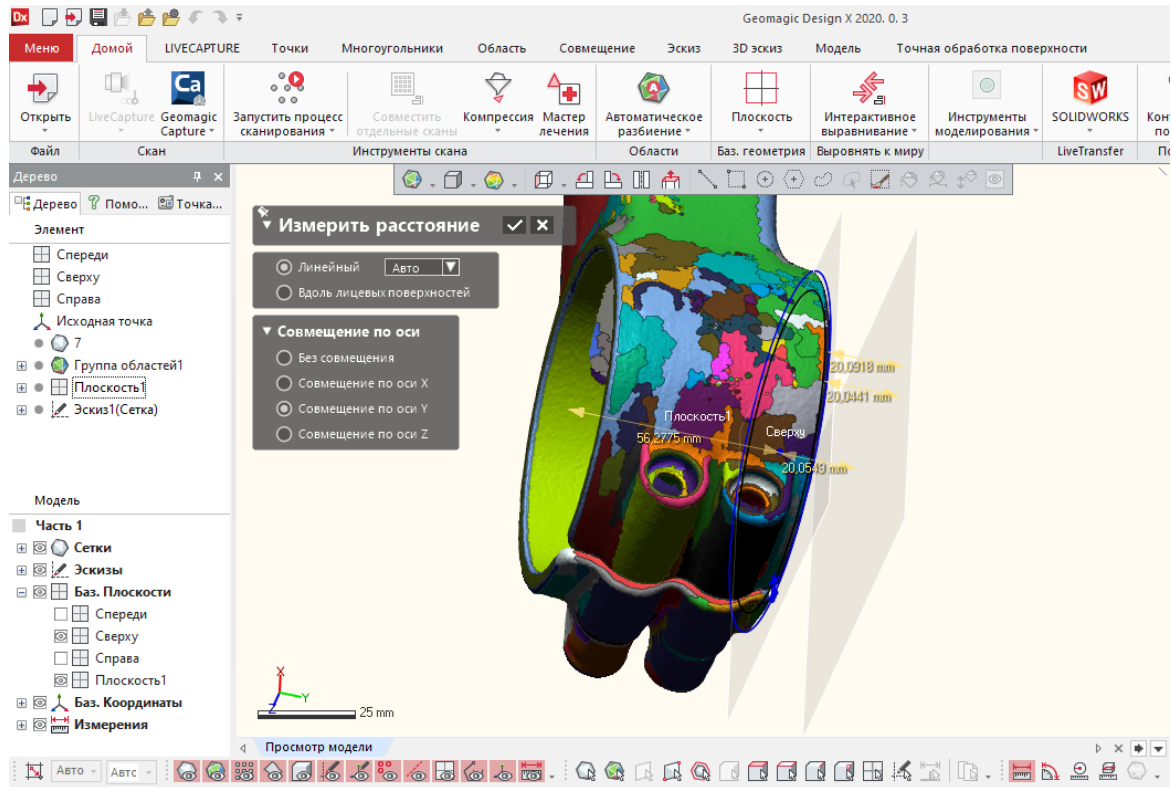


Рис. 76. Измерить расстояние

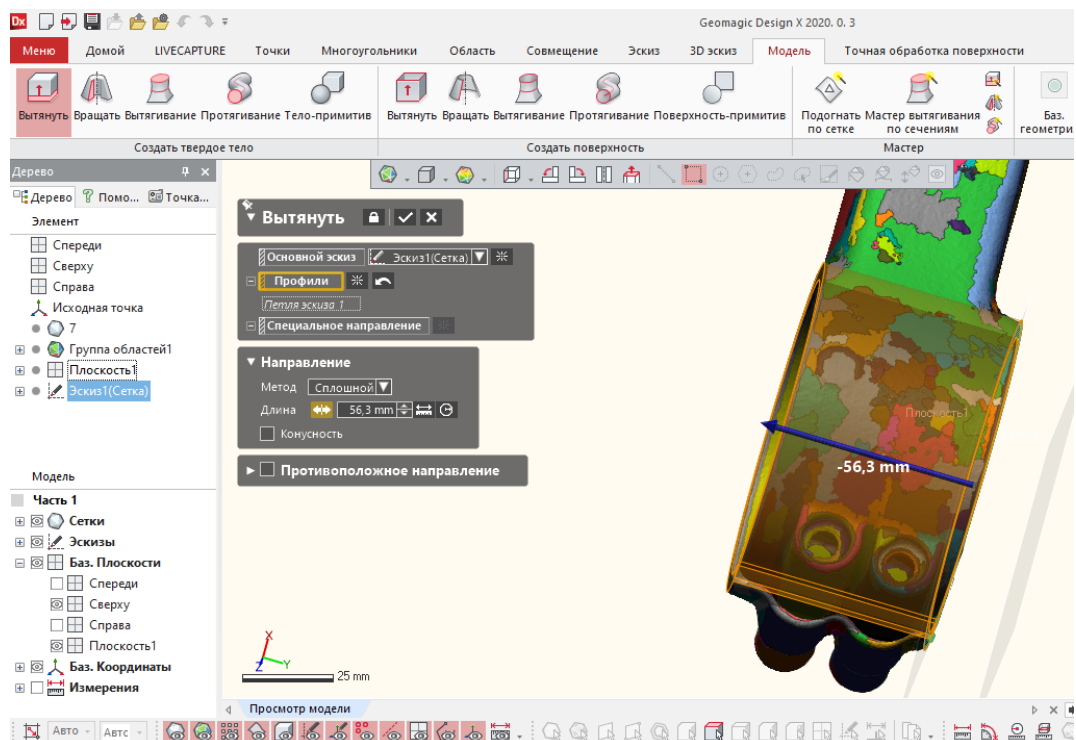


Рис. 77. Вытянуть

Выбираем плоскость на торце нашего разреза кольца, как показано на рис. 76, строим эскиз по сетке, уменьшаем зону так, чтобы попадали только отверстия под крепление, и сместим на 30 мм, как показано на рис. 77, затем добавляем сечение «+», опустив плоскость сечения на 41 мм вниз, добавляем третье сечение, сместив вверх на 29 мм, и принимаем эскиз, отключаем видимость модели и базового тела.

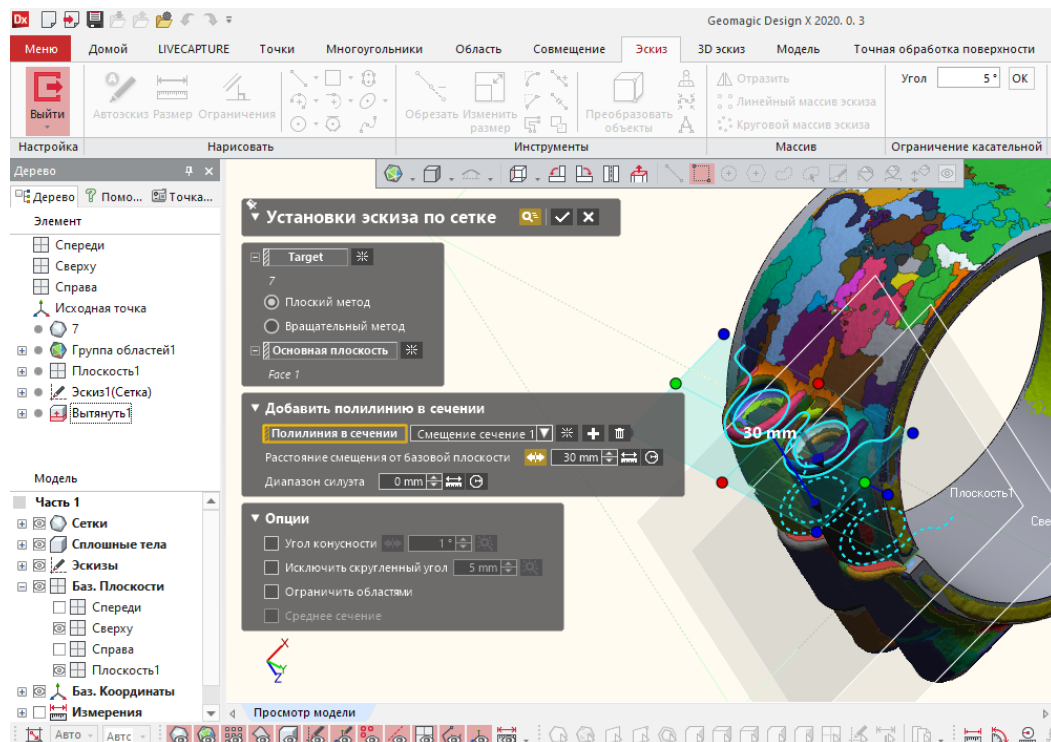


Рис. 78. Установки эскиза по сетке

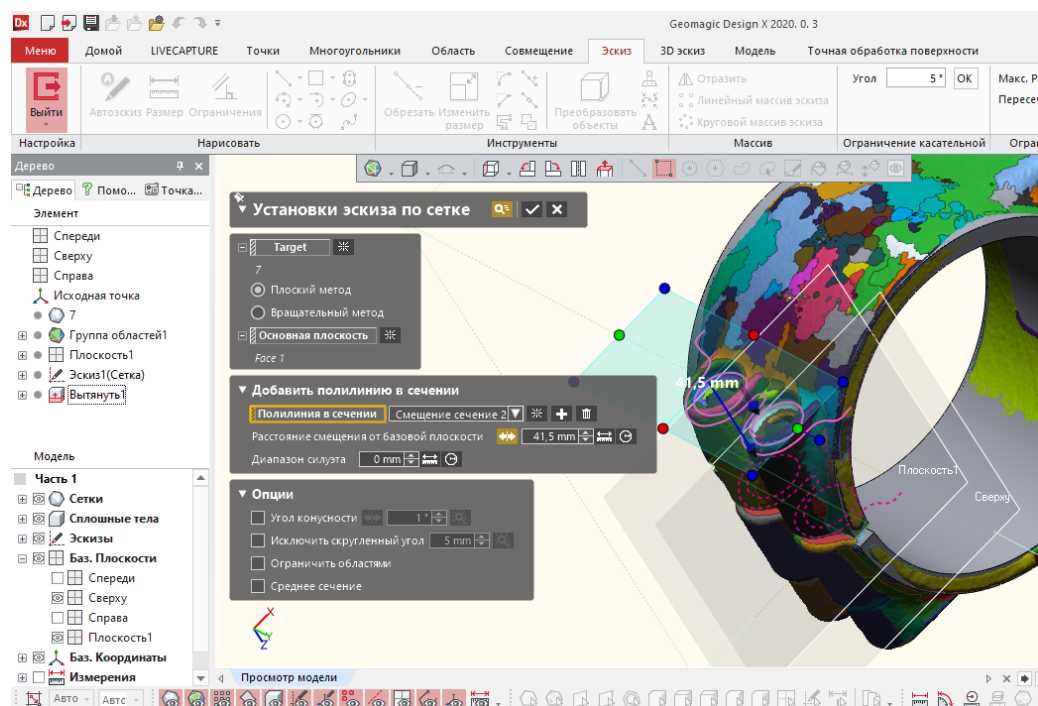


Рис. 79. Установки эскиза по сетке

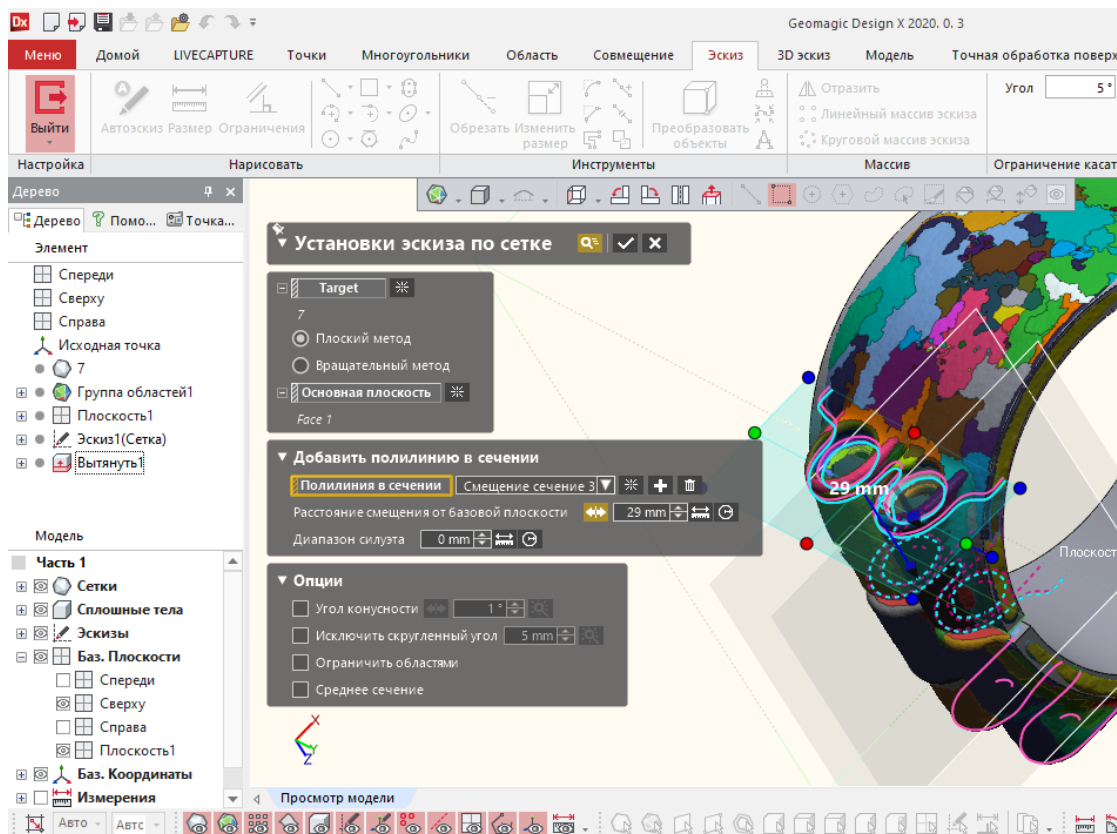


Рис. 80. Установки эскиза по сетке

Строим окружности под болты, соединим их центры прямой, дважды щелкнув по точкам в центрах окружностей, установим ограничение вертикальности и удалим прямую. Проставим диаметр окружностей 4 мм, расстояние от оси по горизонтали для первой – 35,35 мм, а по вертикали 42,2 мм. дважды щелкаем поочередно по окружностям и выставляем равные радиусы, затем расстояние от одной до другой – 22 мм. Далее для обеих окружностей делаем смещение на 3 мм. Снова делаем смещение на 3 мм. Строим горизонтальные линии из крайних верхних и нижних точек больших окружностей, строим вертикальную пересекающую их линию, как показано на рис. 80, и обрезаем лишние участки окружностей и прямых, принимаем эскиз. Включаем плоскость спереди и модель, для того, чтоб узнать необходимые размеры. Измеряем расстояние от плоскости до верхней кромки крепления болта, ставим совмещение по оси Z, ту же операцию проделываем с противоположной стороны. Вытягиваем как твердое тело уши вверх на 40,75 мм, не забыв убрать из выделения отверстия, далее в противоположном направлении на 34 мм и принимаем.

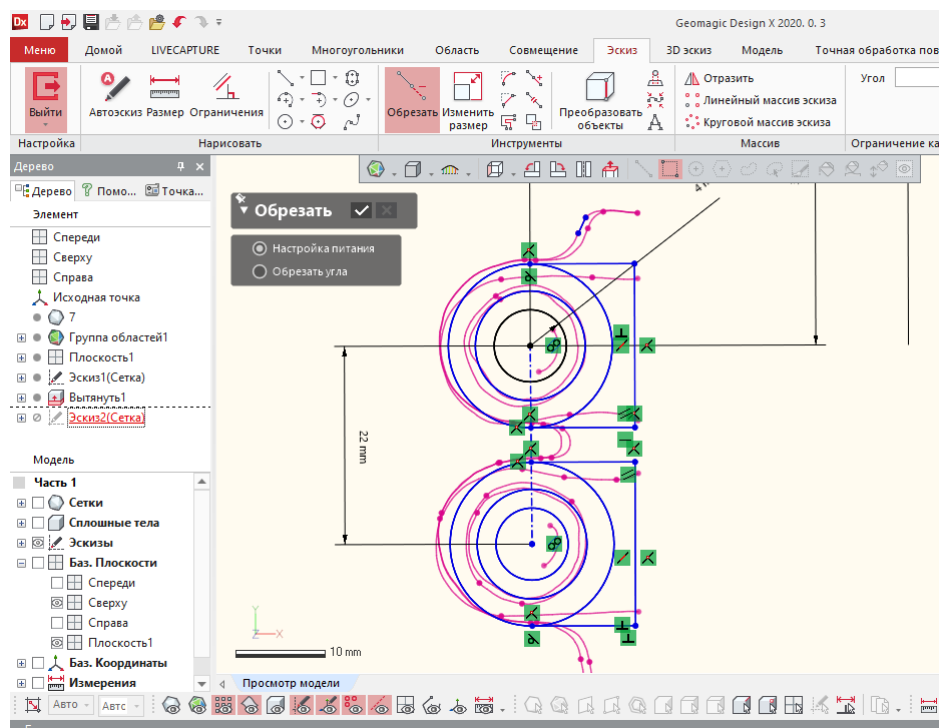


Рис. 81. Обрезать

Далее отключаем *Видимость модели* и размеров. Выбираем верхнюю плоскость уха, переходим в *Эскиз*, в дереве построений выбираем *Эскиз*, который мы строили для того, чтобы вытянуть уши, преобразовываем геометрию и выходим. Во вкладке *Модель* командой *Вытянуть* вырезаем в противоположном направлении кольца на глубину 4,5 мм.

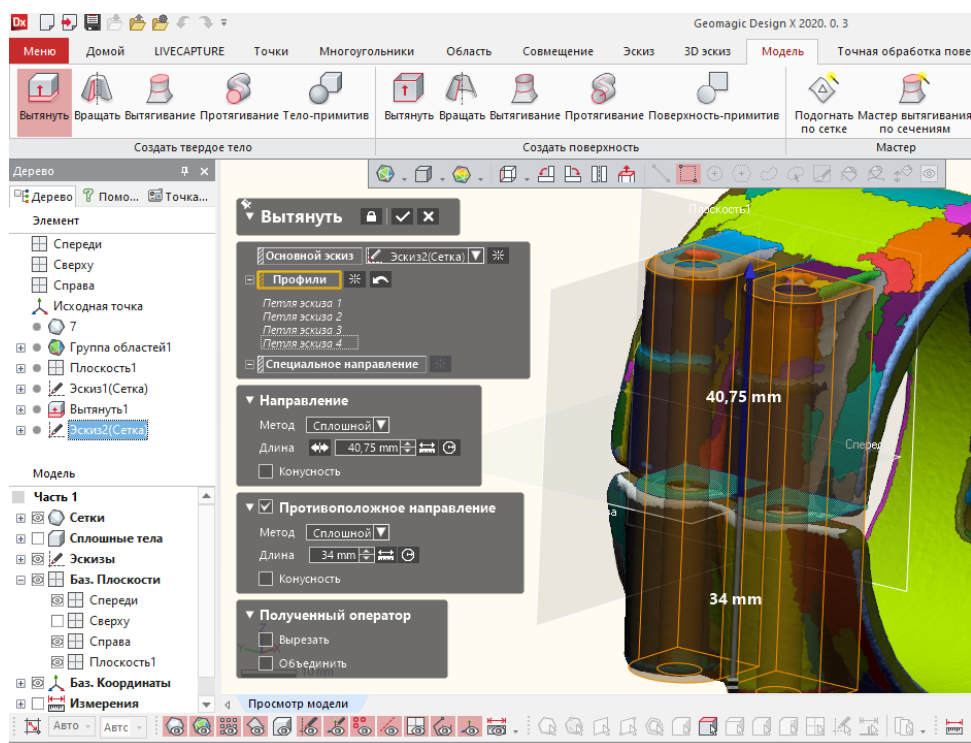


Рис. 82. Вытянуть

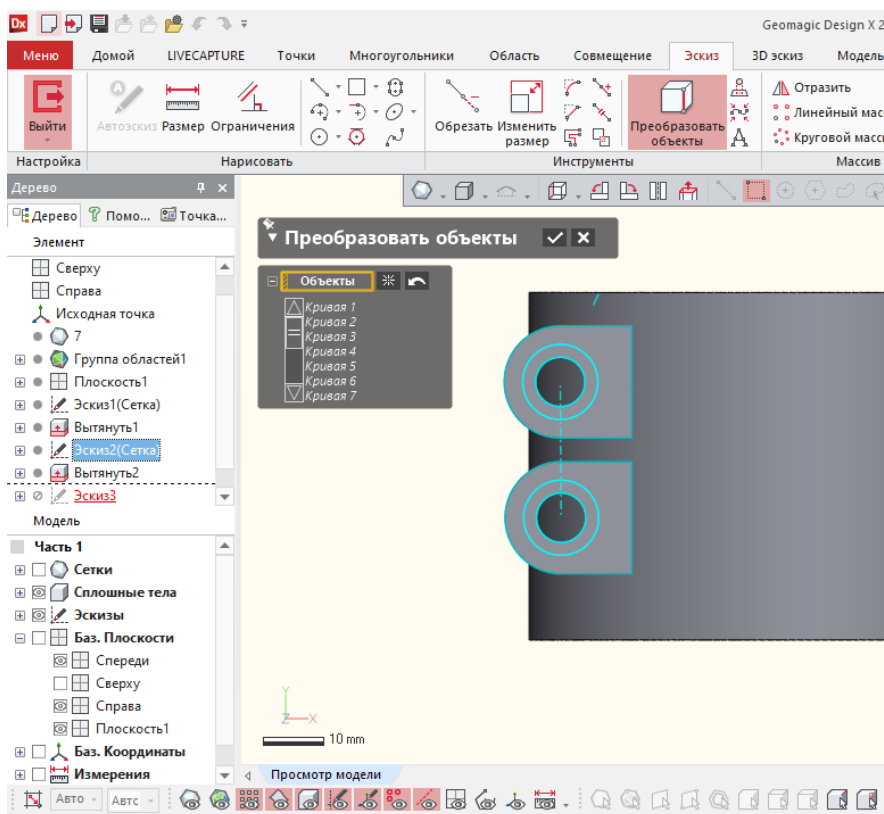


Рис. 83. Преобразовать объекты

Убираем *Видимость модели*, и на торцевой стороне кольца крепления хаба начинаем эскиз. Преобразовываем геометрию всех его составных частей, удлинив горизонтальные линии влево стороны за контур ушей. Далее вырезаем эскиз командой *Вытянуть*, методом *Через все*.

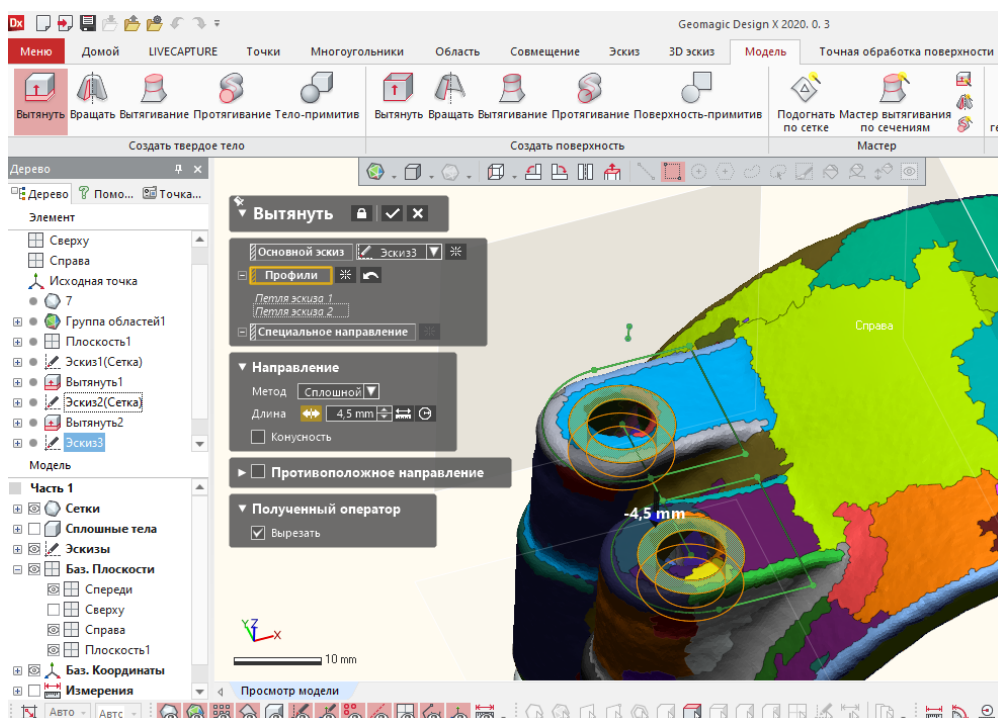


Рис. 84. Вытянуть

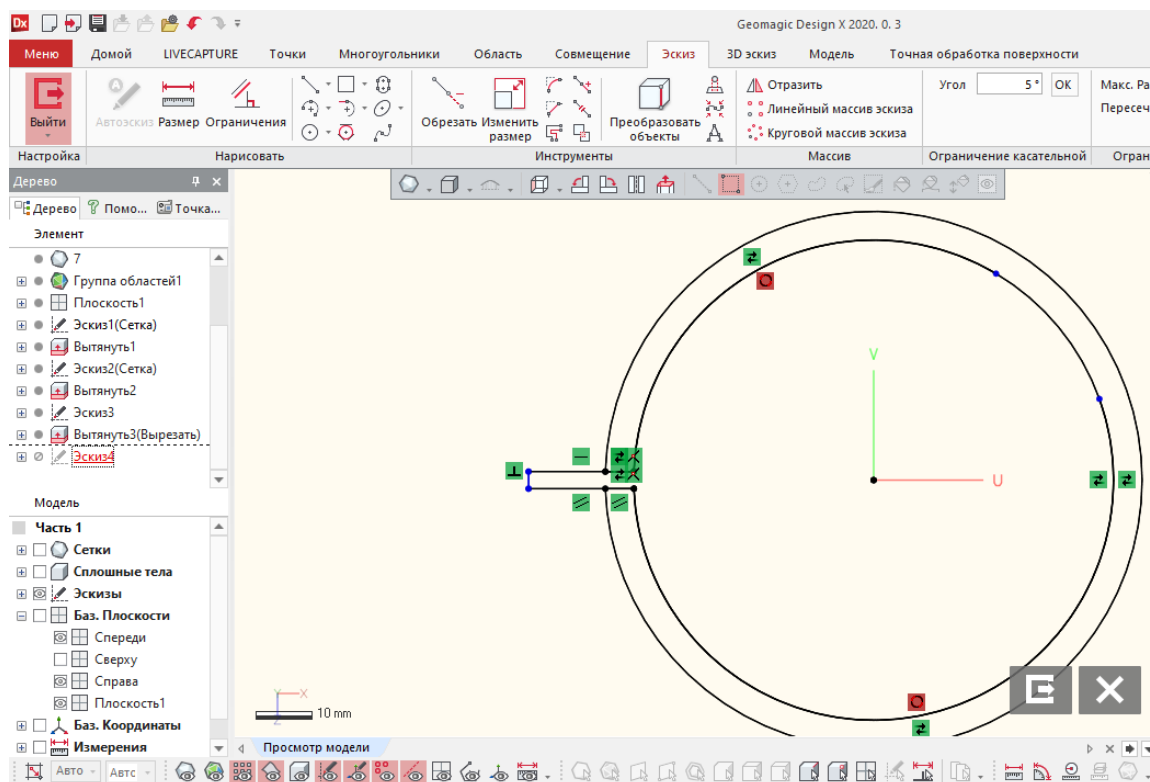


Рис. 85. Создание эскиза

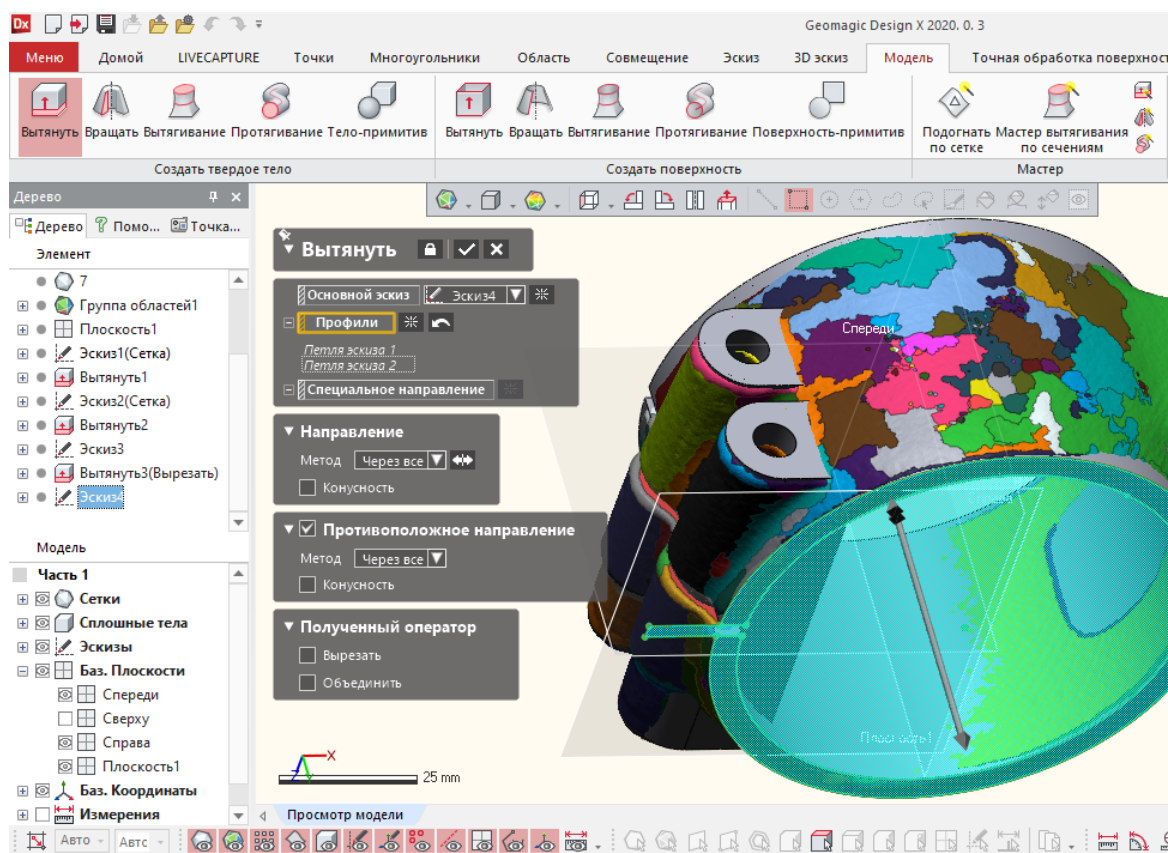


Рис. 86. Вытягивание

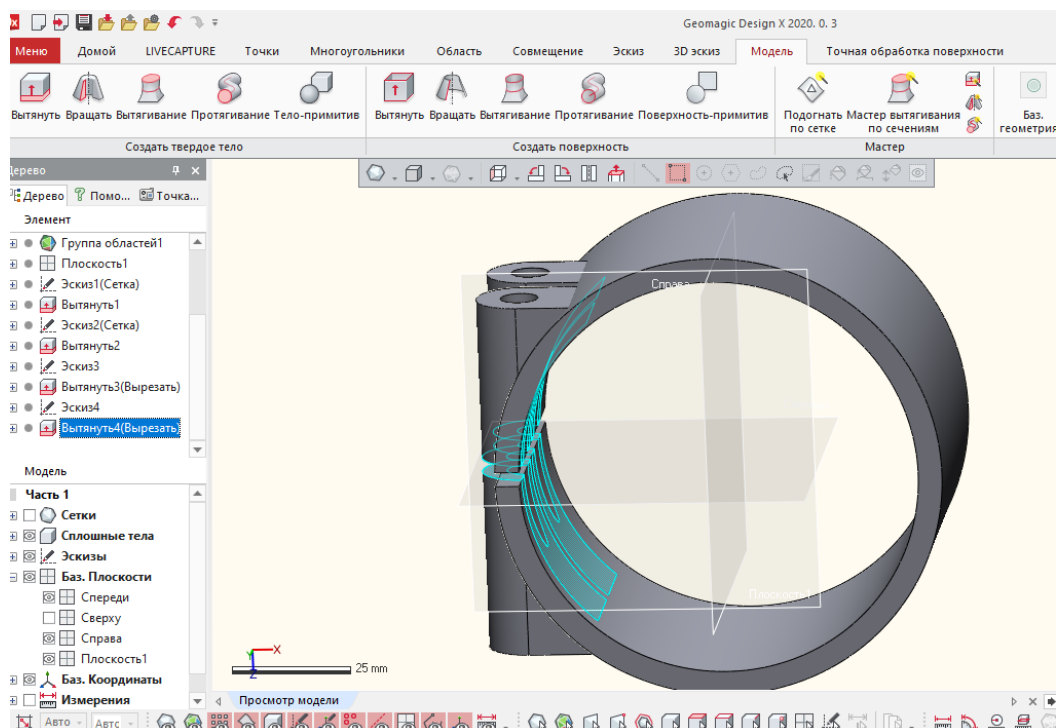


Рис. 87. Крепление

Начинаем эскиз в плоскости *Спереди*, опустив диапазон допуска на 10 мм вниз, и принимаем. Далее преобразовываем геометрию эскиза, который мы использовали для создания ушей, и убираем все, кроме маленьких окружностей. Из центров этих окружностей строим новые диаметром 5 мм и выходим из эскиза. Вытягиваем отверстия вверх на 20 мм и вниз на 19 мм.

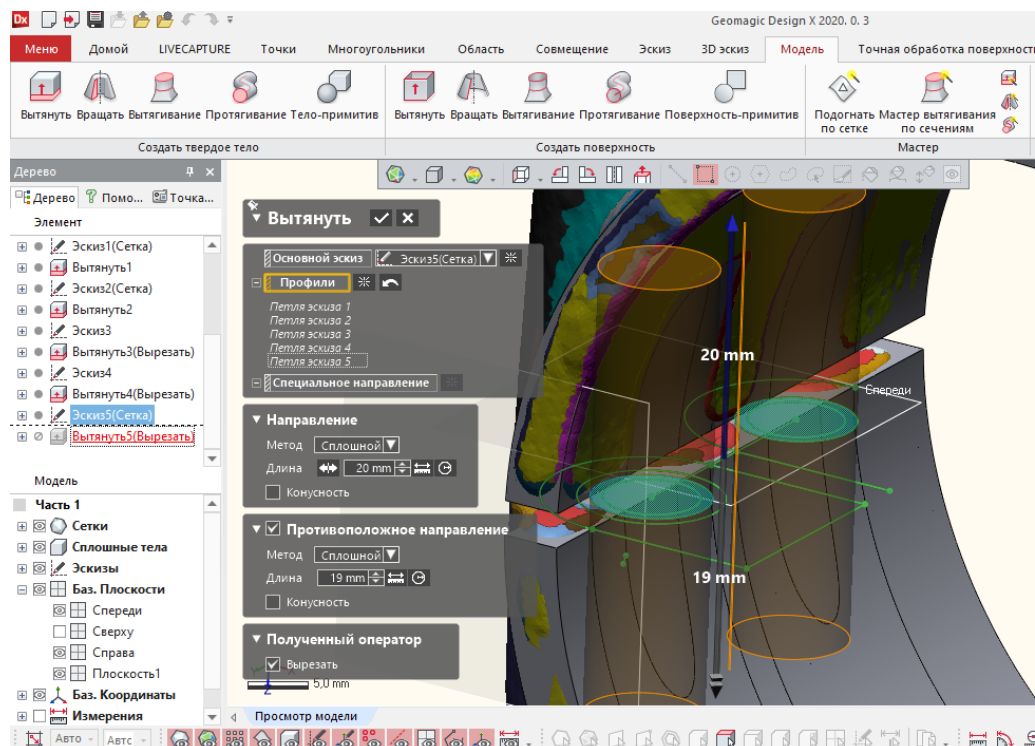


Рис. 88. Вытягивание

Как мы видим, на данный момент у нас имеется 5 твердых тел, которые необходимо объединить в одно. Для это во вкладке *Модель* выбираем функцию *Редактировать / Логические функции / Объединить* и выбираем наши тела. Таким образом, мы получаем одно сплошное тело.

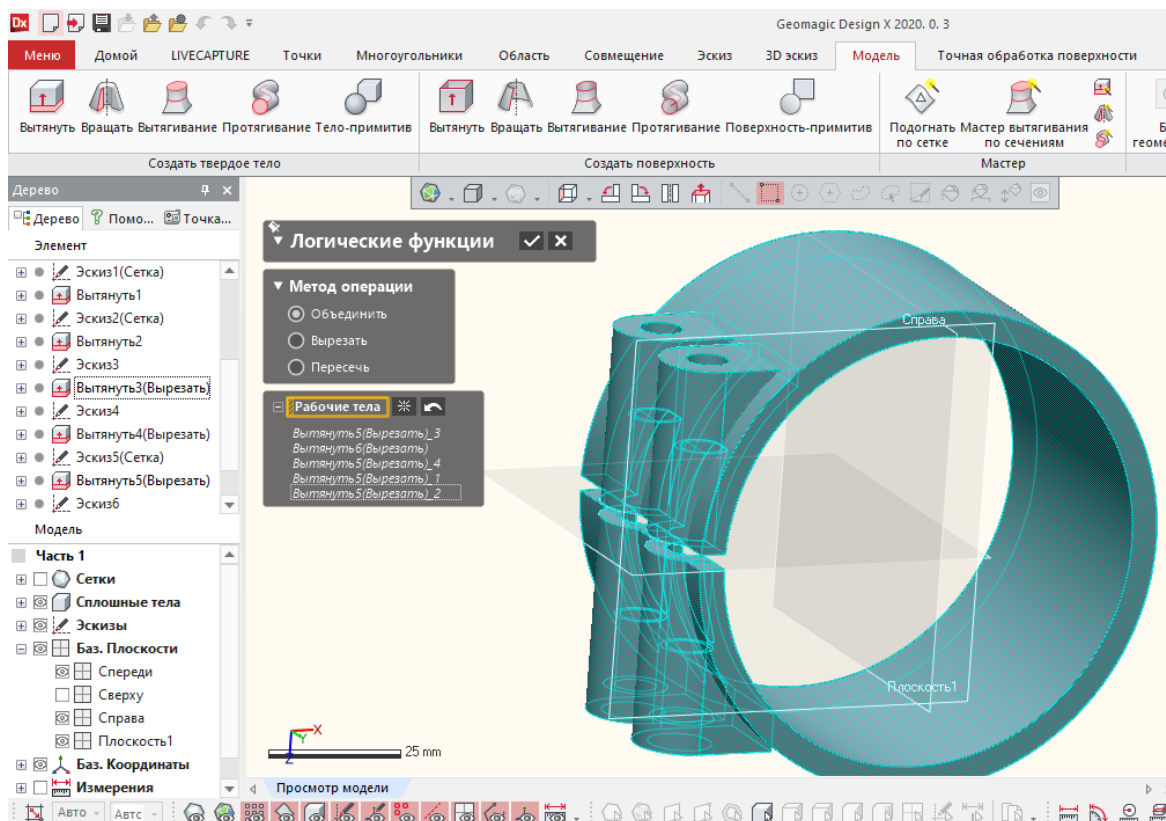


Рис. 89. Объединение

Далее таким же образом строим все крепления.

Базовая плоскость сверху / Измерить расстояние / Базовая плоскость по оси Y и измеряем расстояние от плоскости до уха и его толщину, как показано на рис. 89.

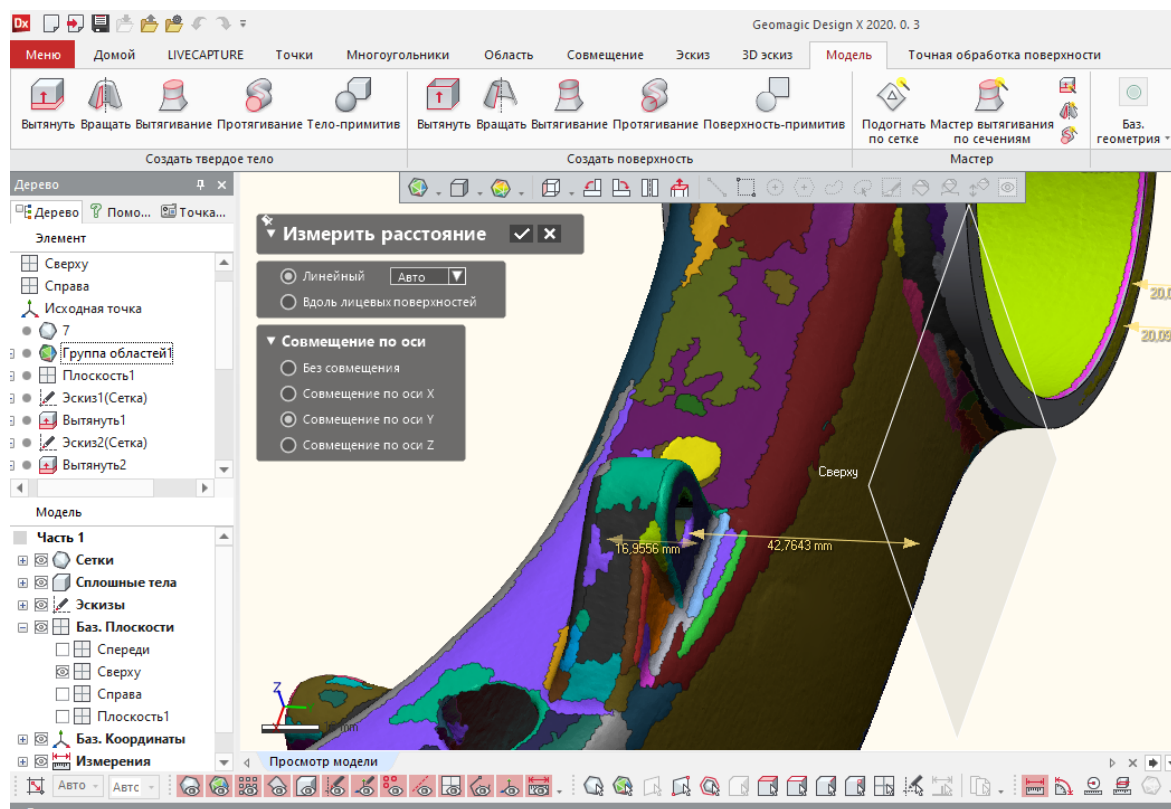


Рис. 90. Измерение расстояний

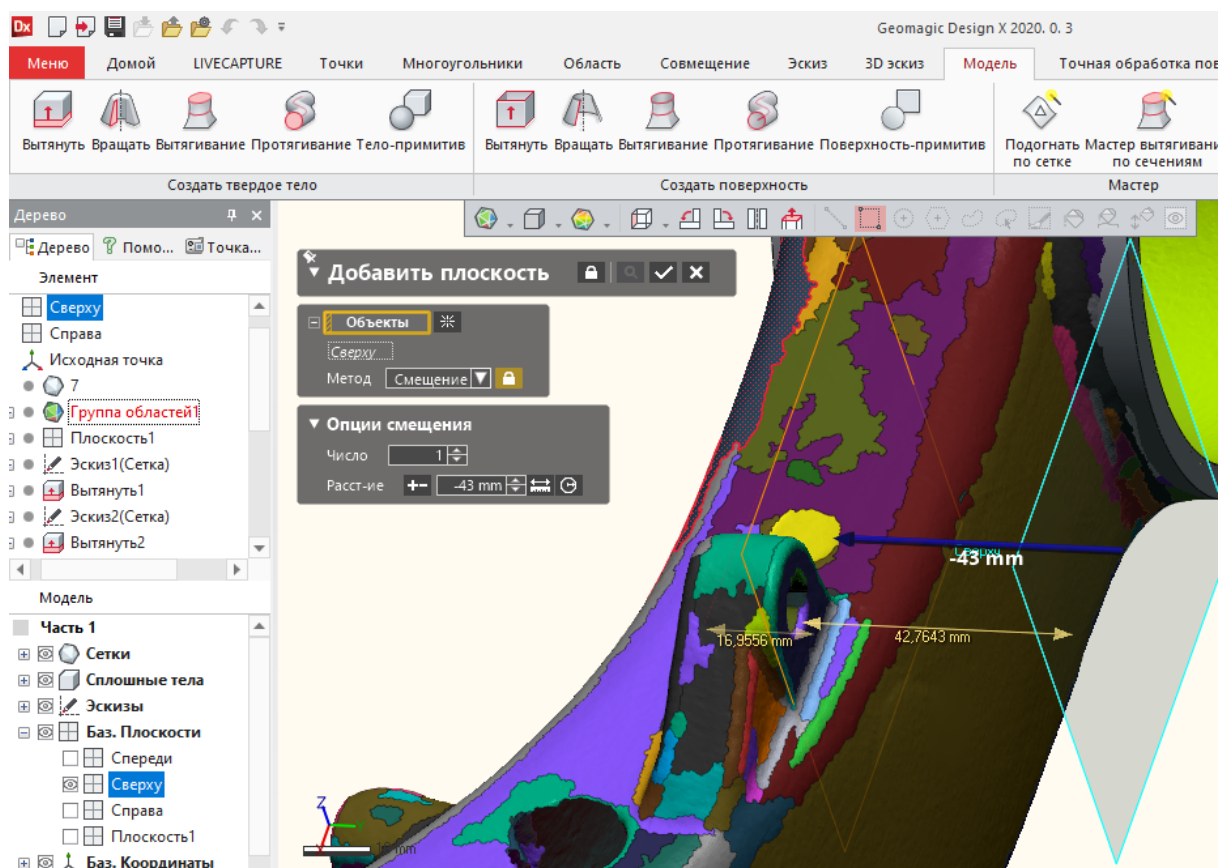


Рис. 91. Добавление плоскости

Далее строим плоскость, смещение выставляем (–43) мм, отключаем *Плоскость сверху*. Строим эскиз по сетке, уменьшаем зону, чтобы не

захватывать лишнего, и смещаем на 8,5 мм вглубь, также используем диапазон смещения, что бы в него помещалось крепление целиком (18,5 мм). Отключаем модель.

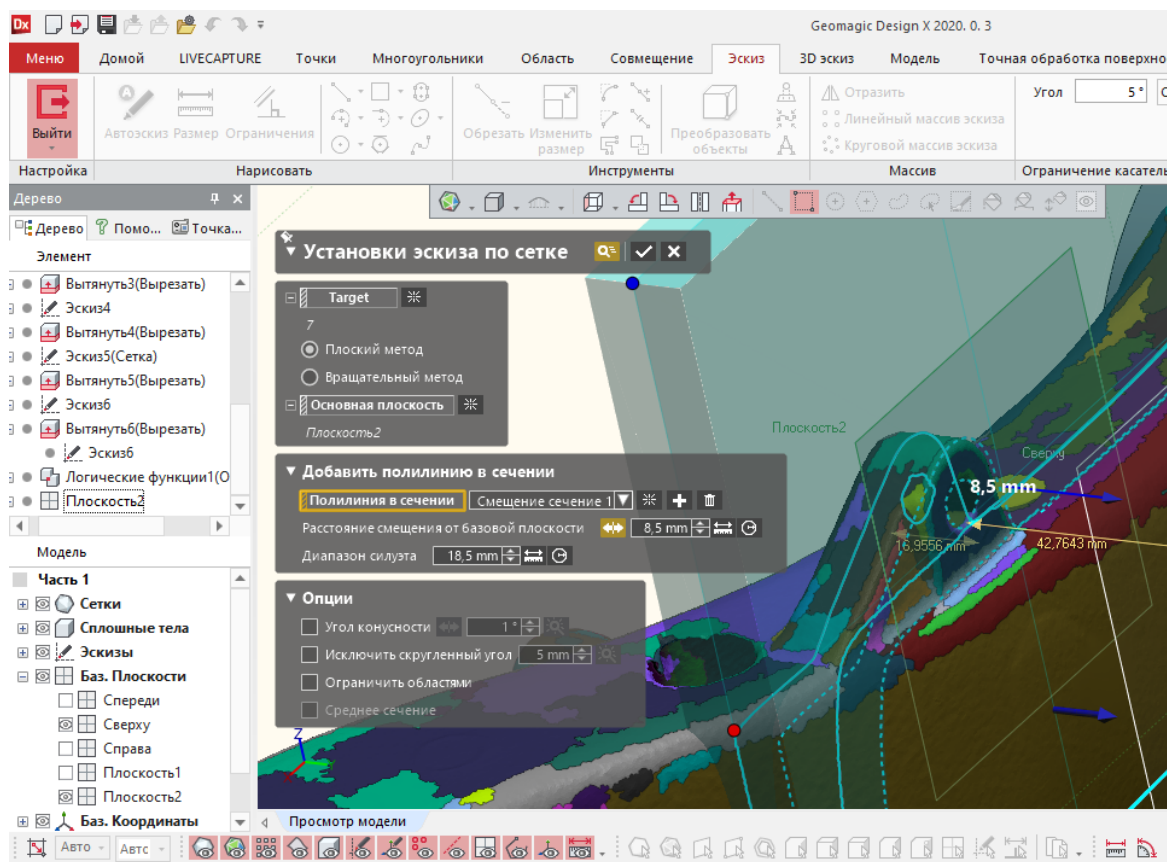


Рис. 92. Установка эскиза по сетке

Строим окружность, выставляем размер 4,1 мм, расстояние от горизонтали – 45,25 мм, по вертикали – 126,85 мм. Далее смещаем на 6 мм. Чертим горизонтальную линию чуть ниже самой верхней горизонтальной линии крепления, соединяем касательной к большой окружности, удлиняем их до пересечения. Для окружности задаем параметр *Касательная* и размер 10 мм. Для линии так же ставим *Касательная*. Аналогично строим вторую касательную.

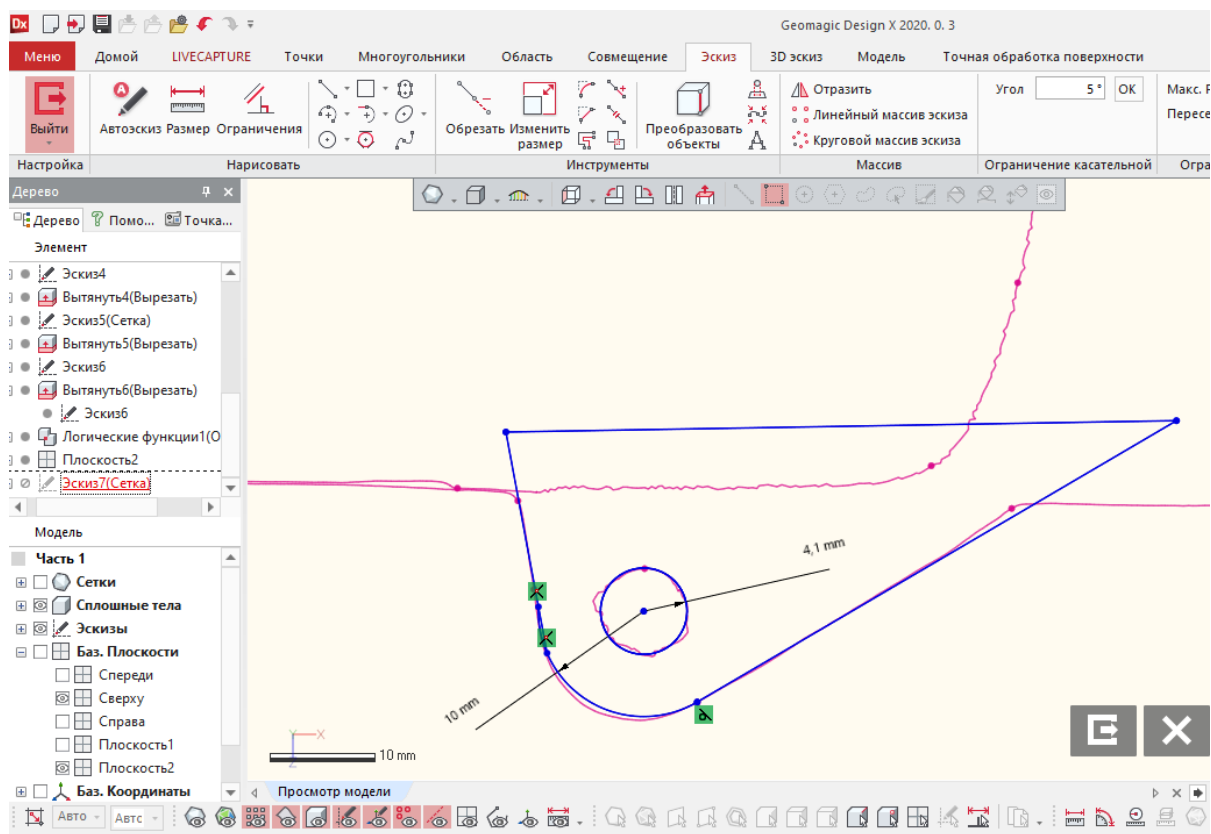


Рис. 93. Эскиз крепления

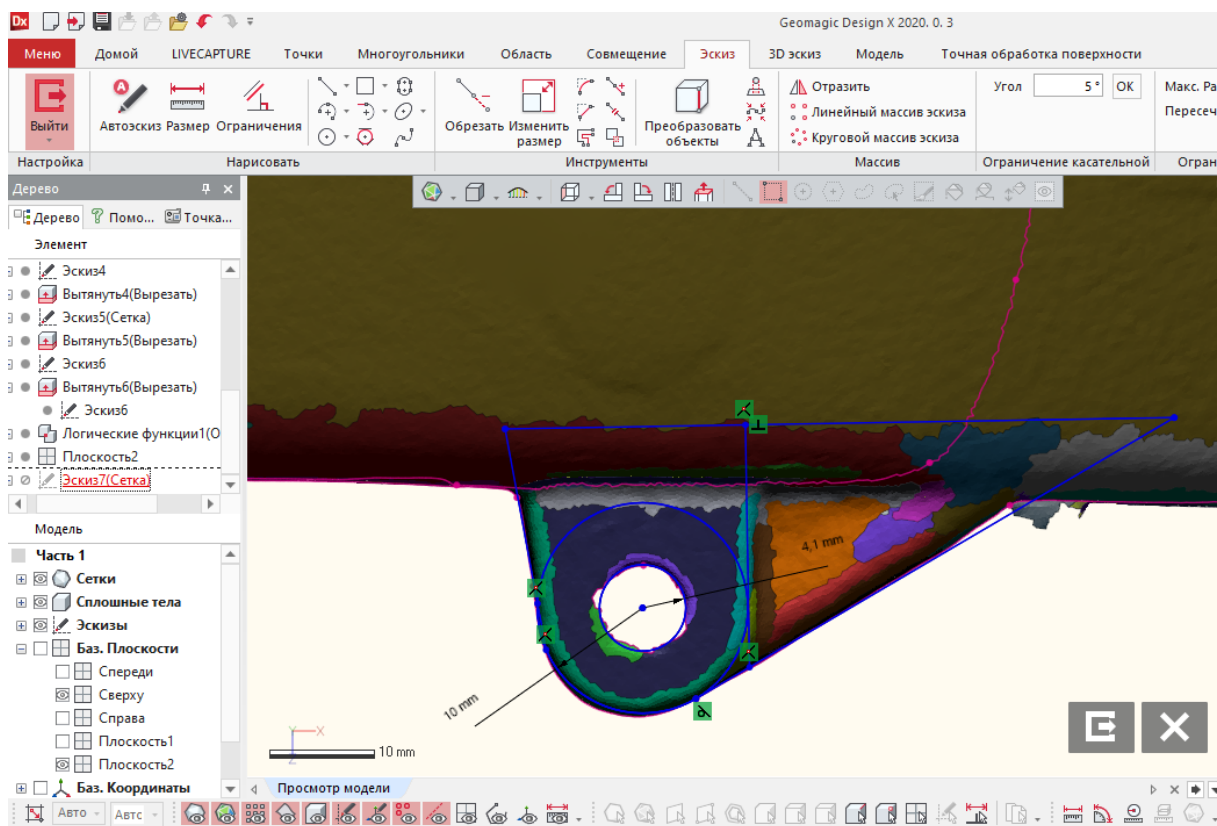


Рис. 94. Крепление

Включив модель, мы можем заметить еще одно ребро, касательное к окружности, строим его. Вытягиваем эскиз на 15,75 мм в противоположном направлении, как показано на рис. 94. Повторяем операцию вытягивания, в качестве эскиза выбираем наш последний эскиз, как показано на рис. 95, и вырезаем на 2 мм в обратную сторону. Таким образом, мы сразу строим одним телом.

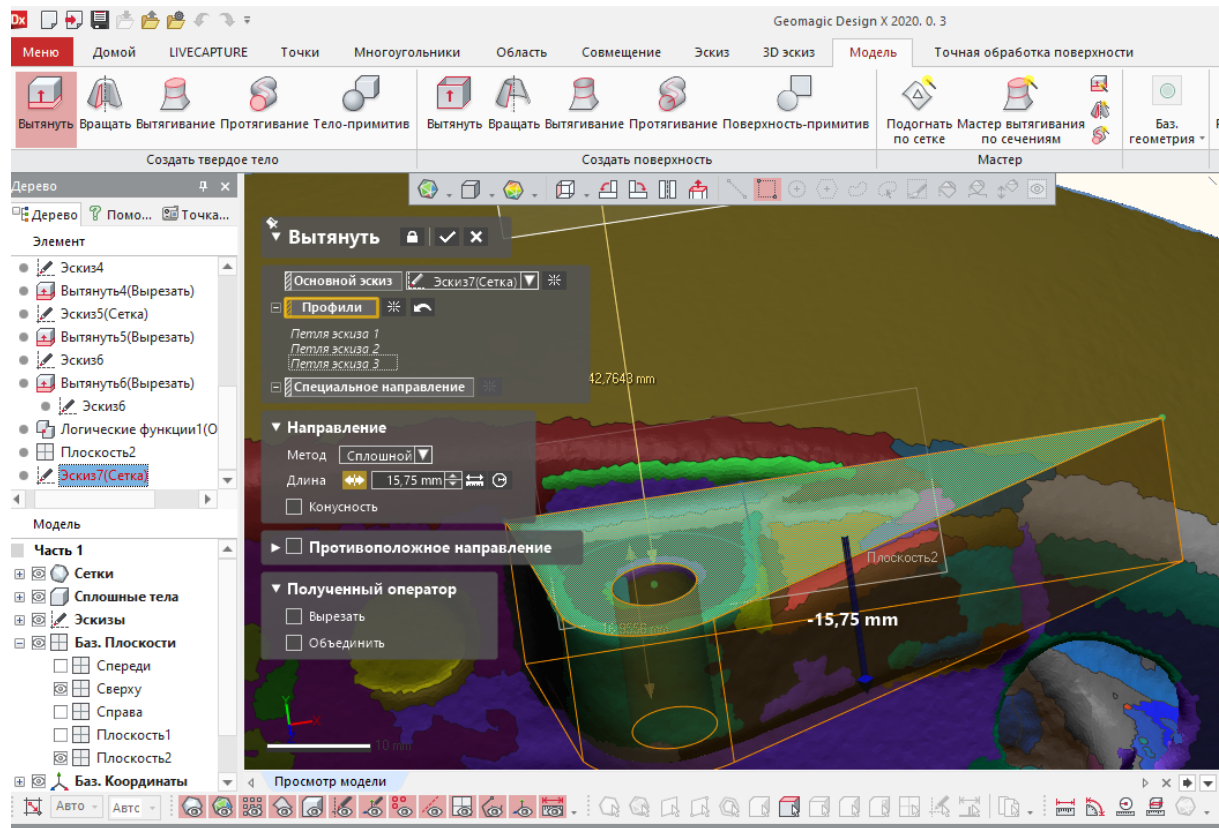


Рис. 95. Вытяжение

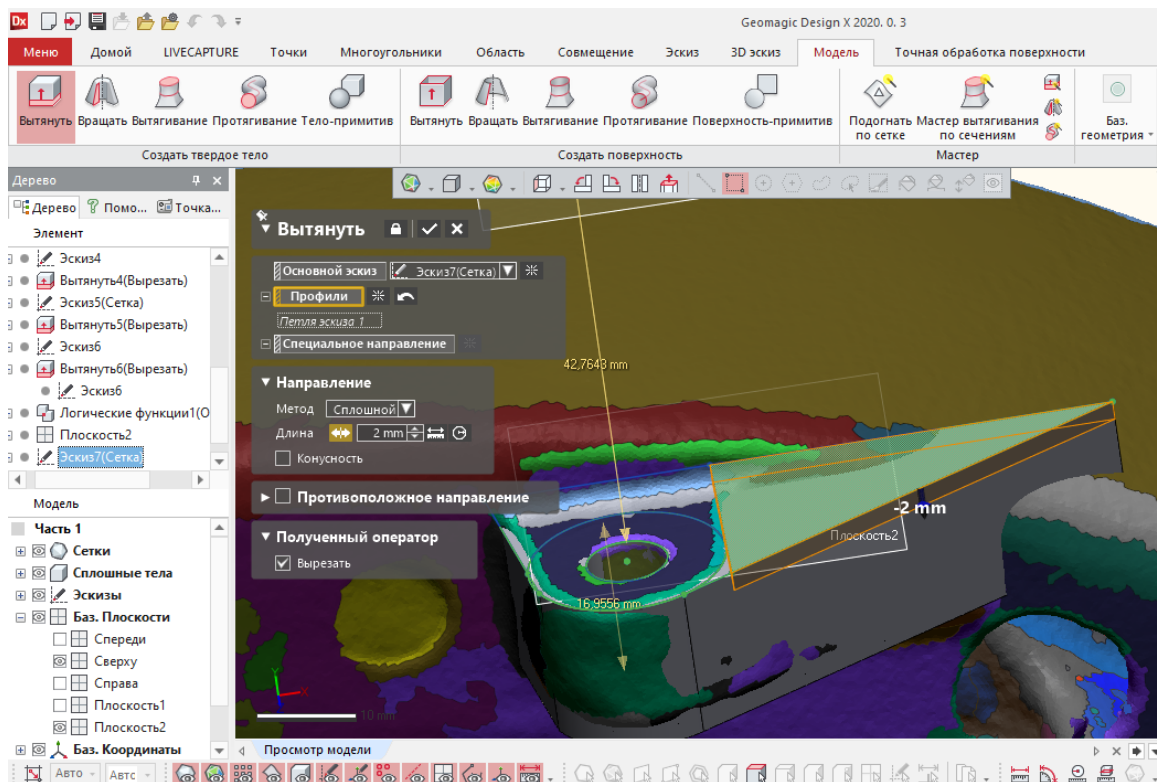


Рис. 96. Вытяжение

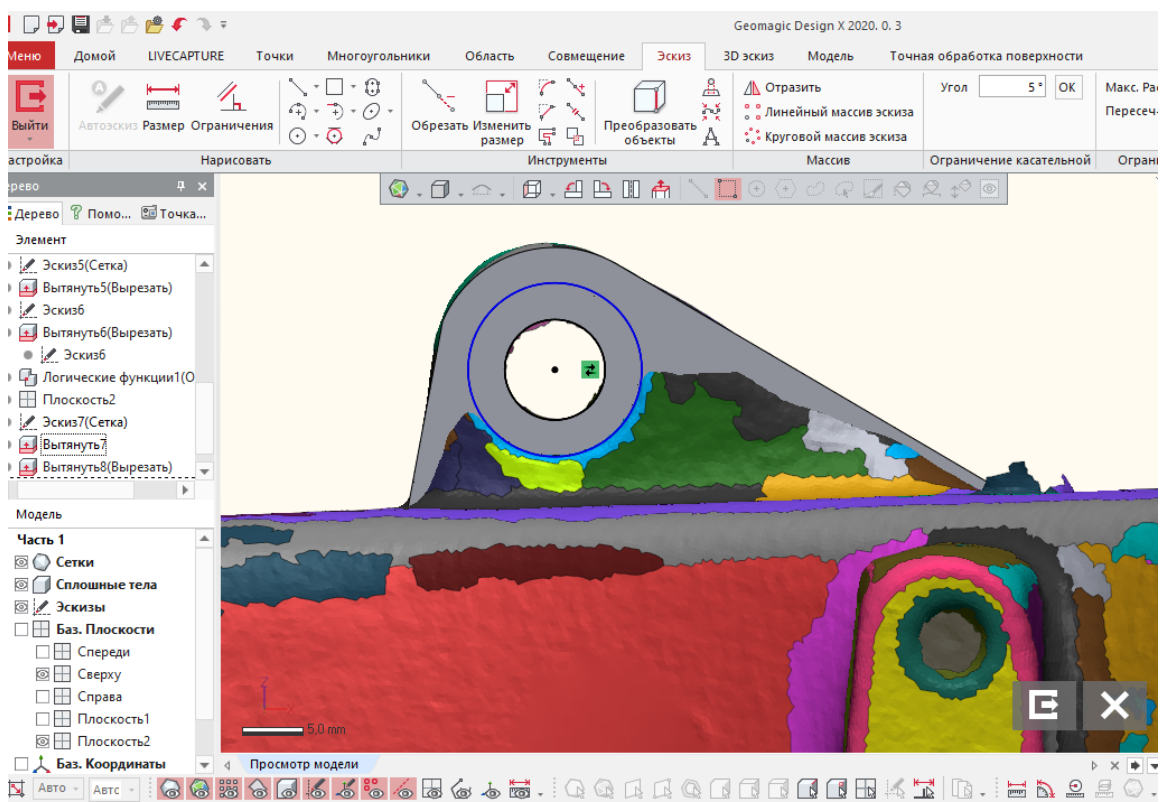


Рис. 97. Отверстие

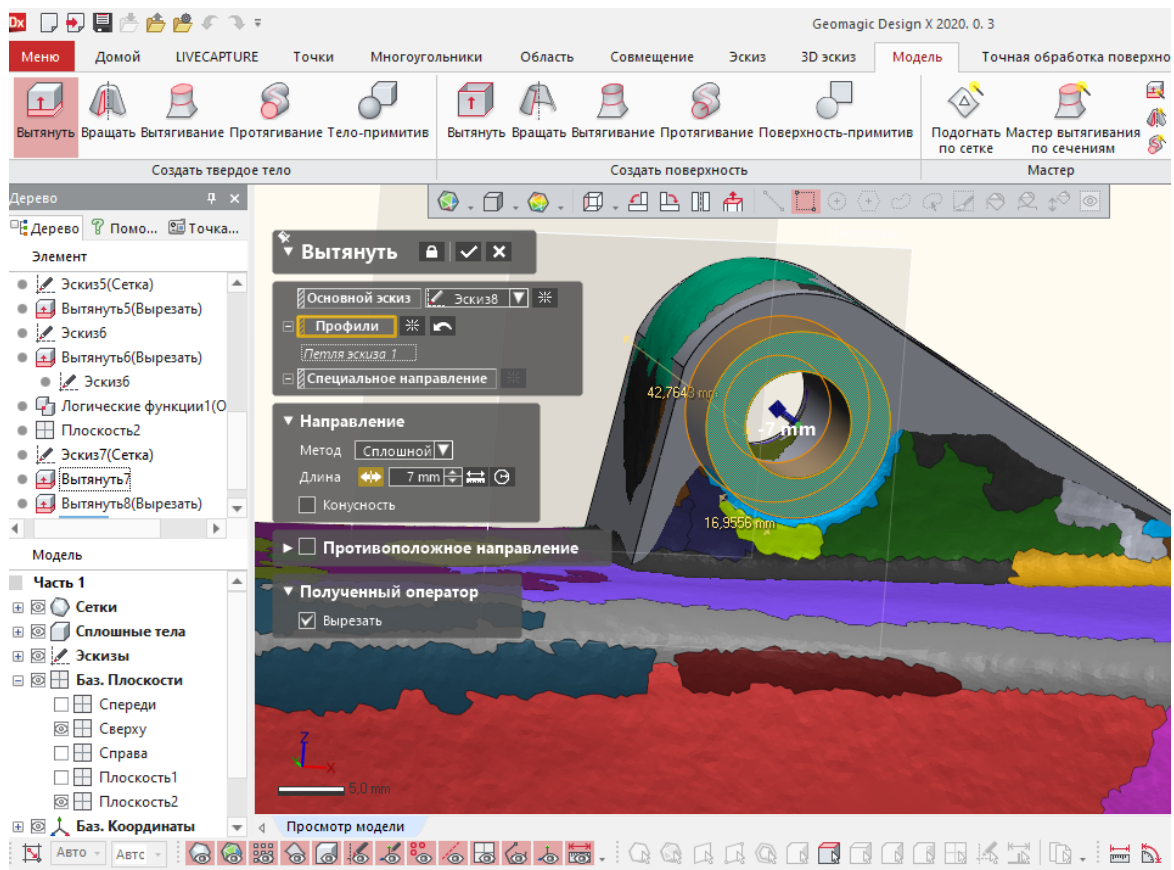


Рис. 98. Вытягивание отверстия

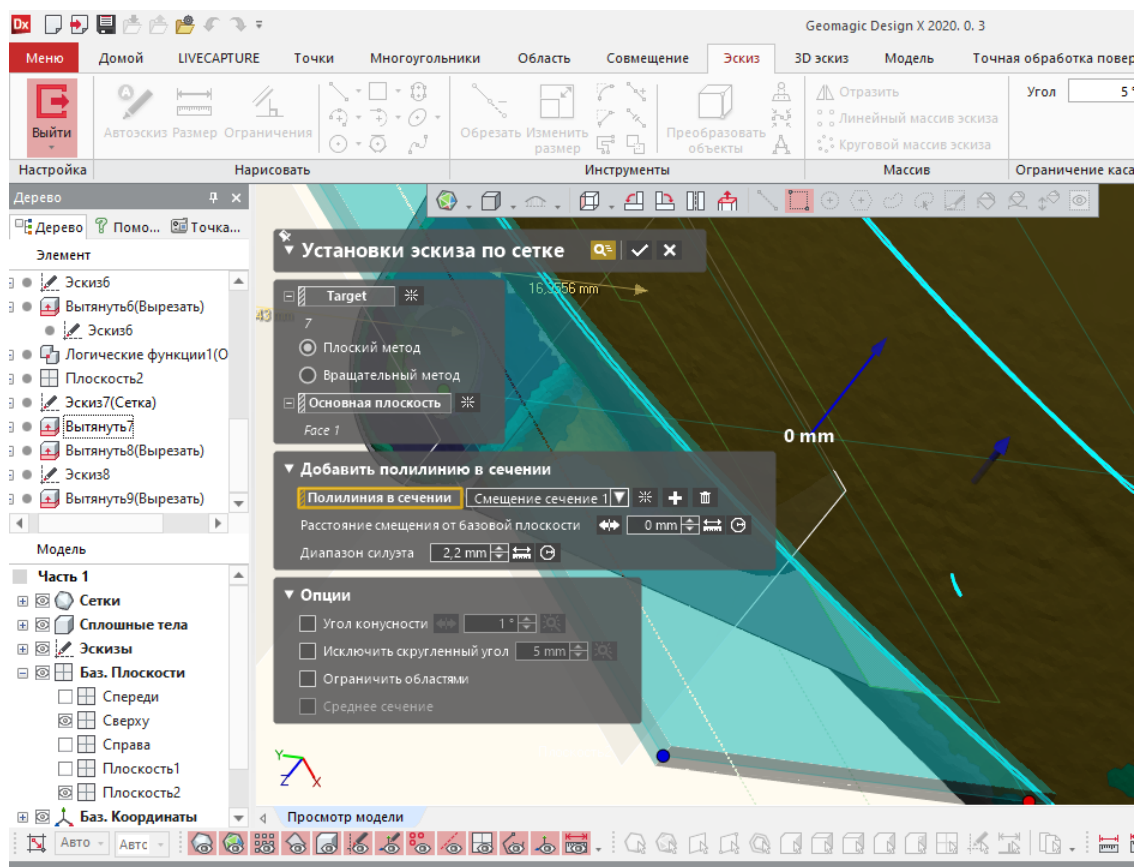


Рис. 99. Установка эскиза по сетке

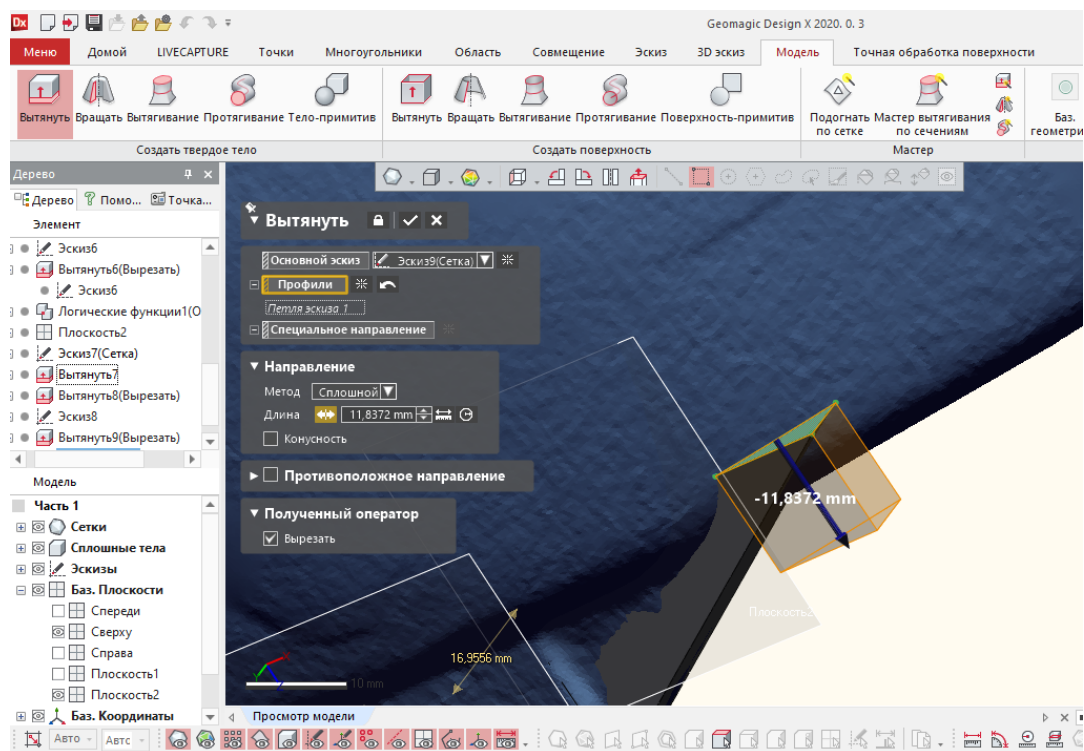


Рис. 100. Вытяжение

Включаем плоскость 2. Замеряем ее размер до крепления, показанного на рис. 100, минимальное расстояние между двумя креплениями и его общую толщину. Строим плоскость, смещаем ее на 28 мм. Далее создаём эскиз по сетке.

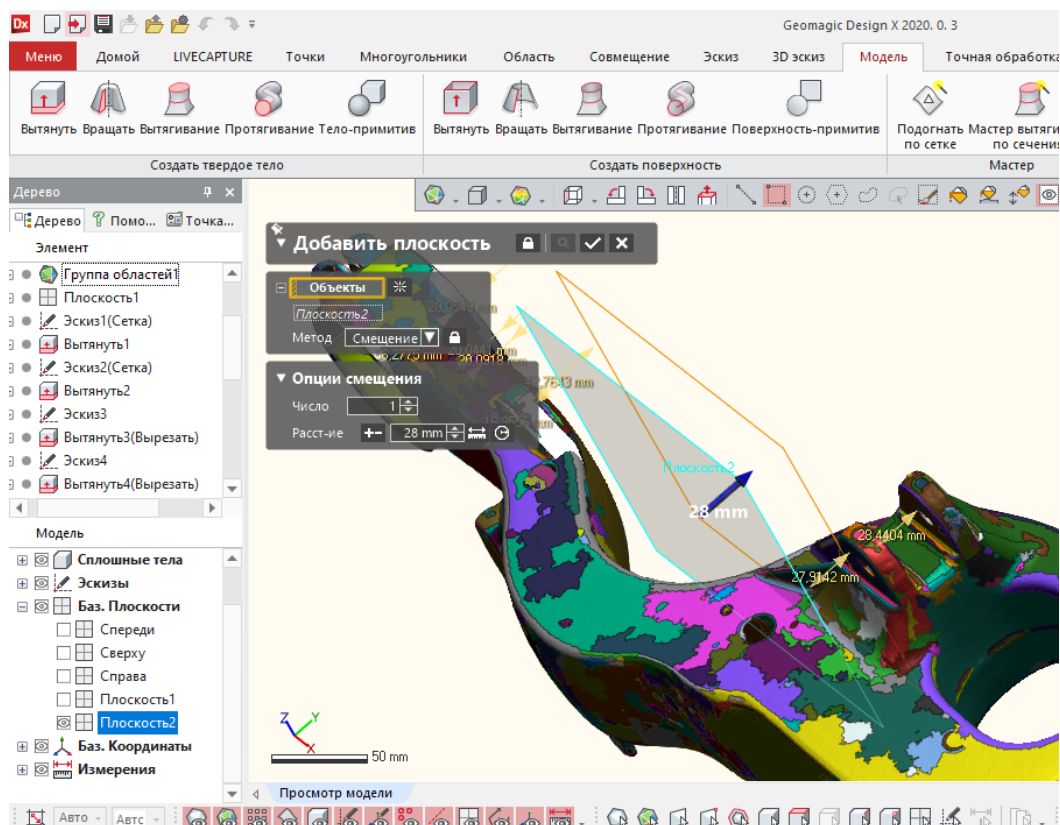


Рис. 101. Добавляем плоскость

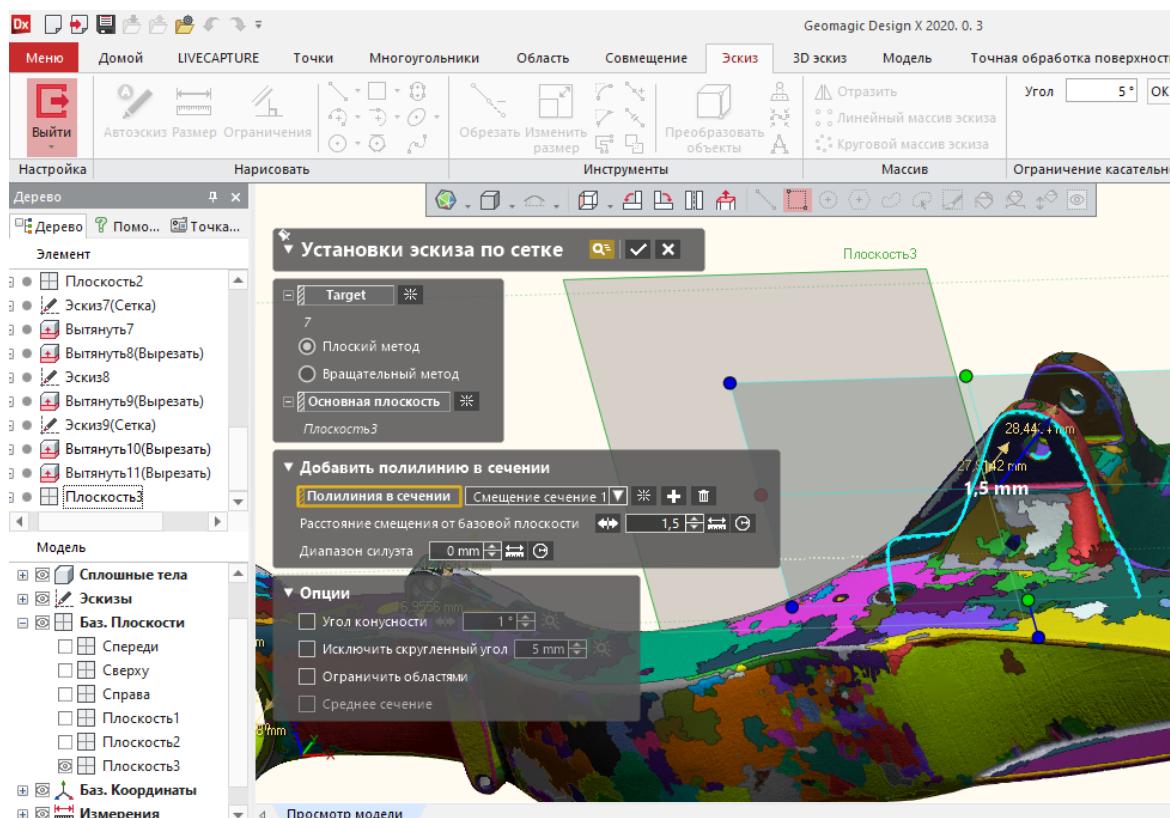


Рис. 102. Установка эскиза по сетке

Строим эскиз только самого уха, без нижней части (его крепления), т. к. она довольно сложной конфигурации, имеет конусную форму в одном направлении и неравномерный конус в другом. В данном построении при смещении плоскости важно не попасть на ребро жесткости, которое имеется на ухе. Добавляем сечение 2, уменьшив его диапазон так, чтоб туда проецировалось только отверстие.

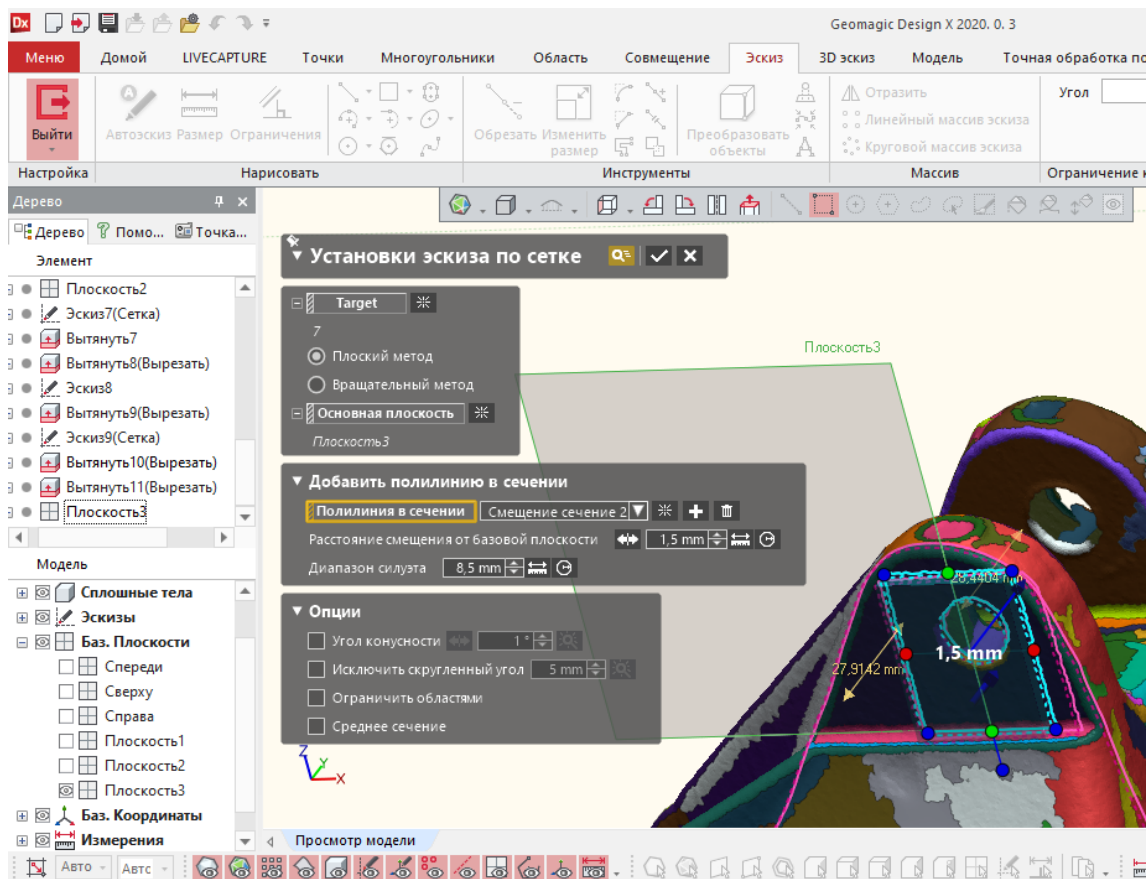


Рис. 103. Установка эскиза отверстия по сетке

Отключаем видимость модели и начинаем построение с окружности – диаметр 6,05 мм, по вертикали 85,15 мм, по горизонтали 419,35. Далее строим касательные к дуге, включив модель горизонтальное ребро уха, обрезаем лишнее и округлением 20 достраиваем дугу.

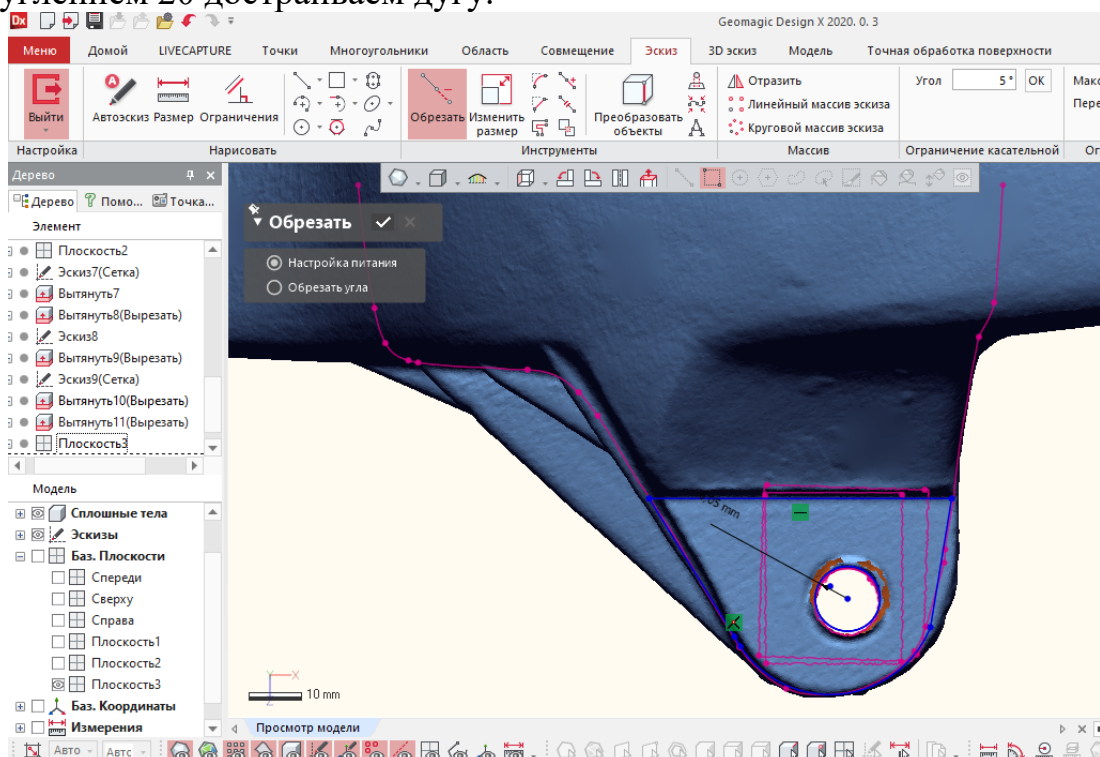


Рис. 104. Обрезаем лишнее

Вытягиваем ухо на 13,1 мм. Строим плоскость, смещаясь от плоскости 3 на 41,6 мм. Выключаем модель и строим эскиз, преобразовав эскиз первого уха, вытягиваем.

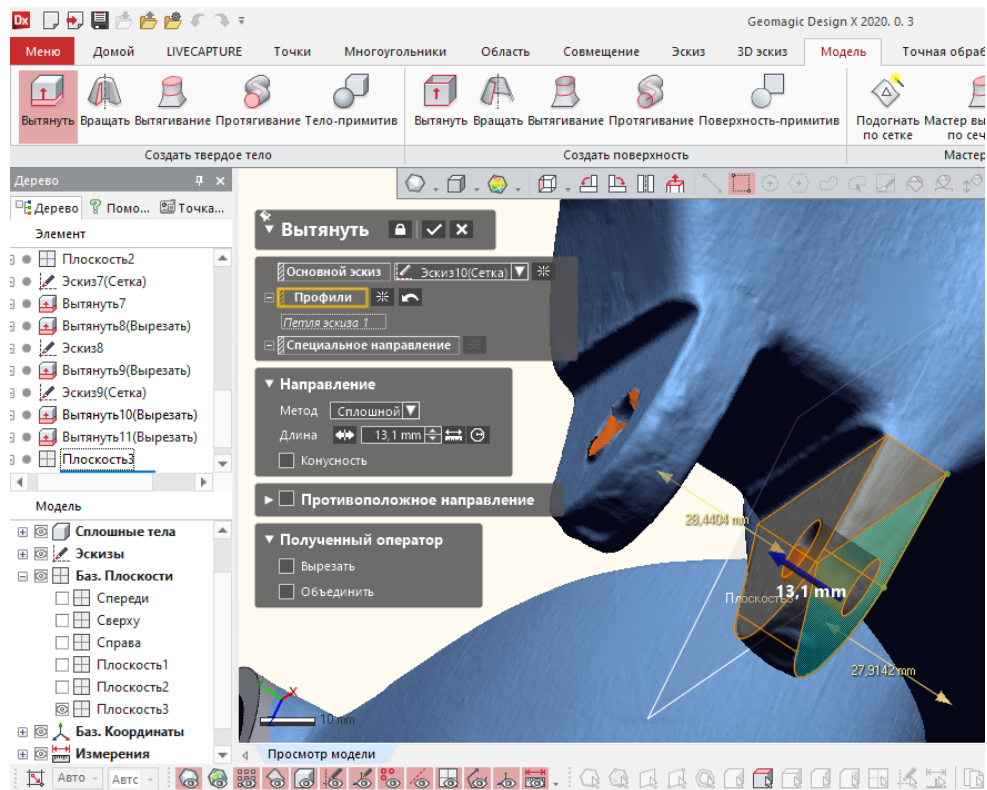


Рис. 105. Вытяжение

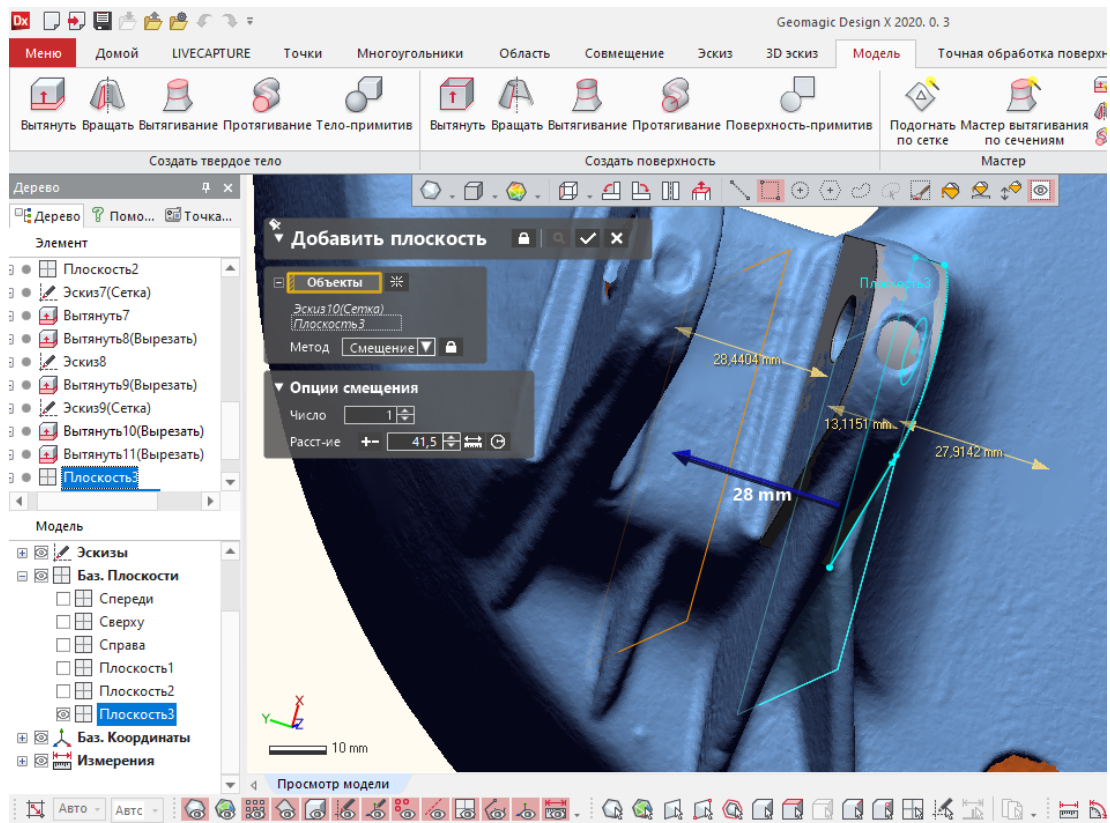


Рис. 106. Добавляем плоскость

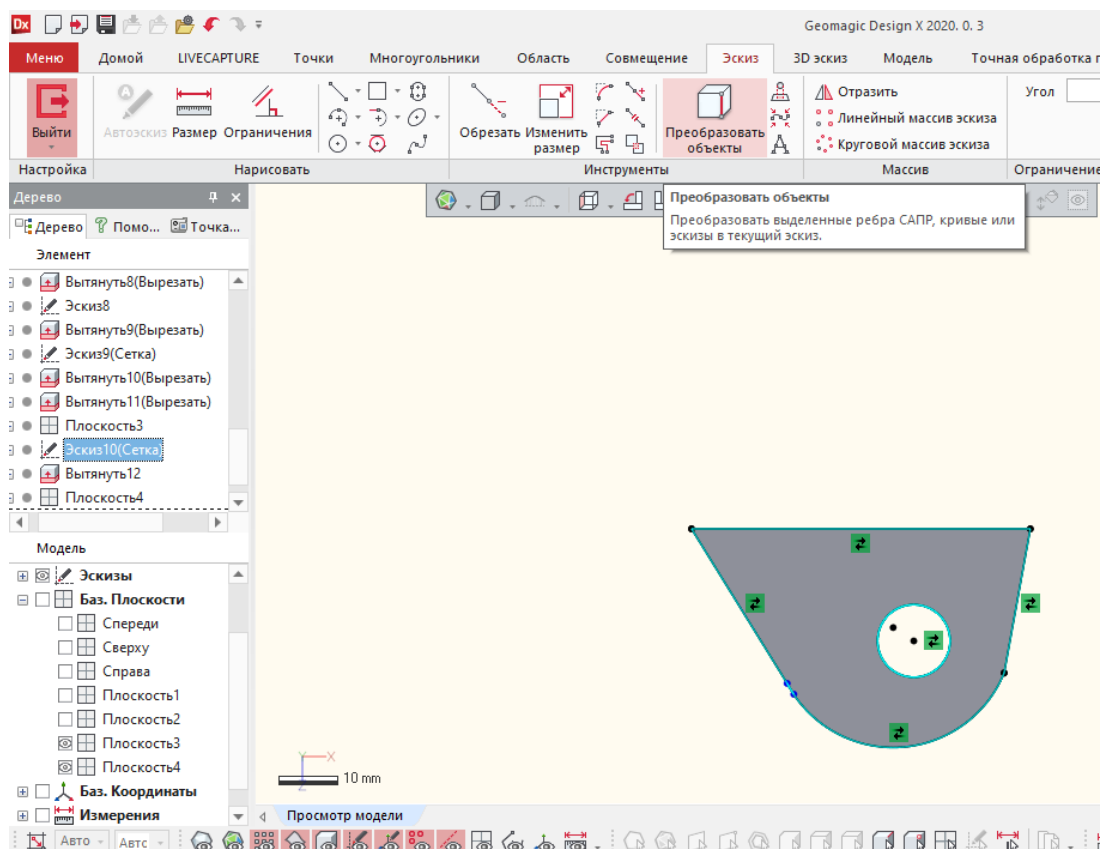


Рис. 107. Преобразование элемента крепления

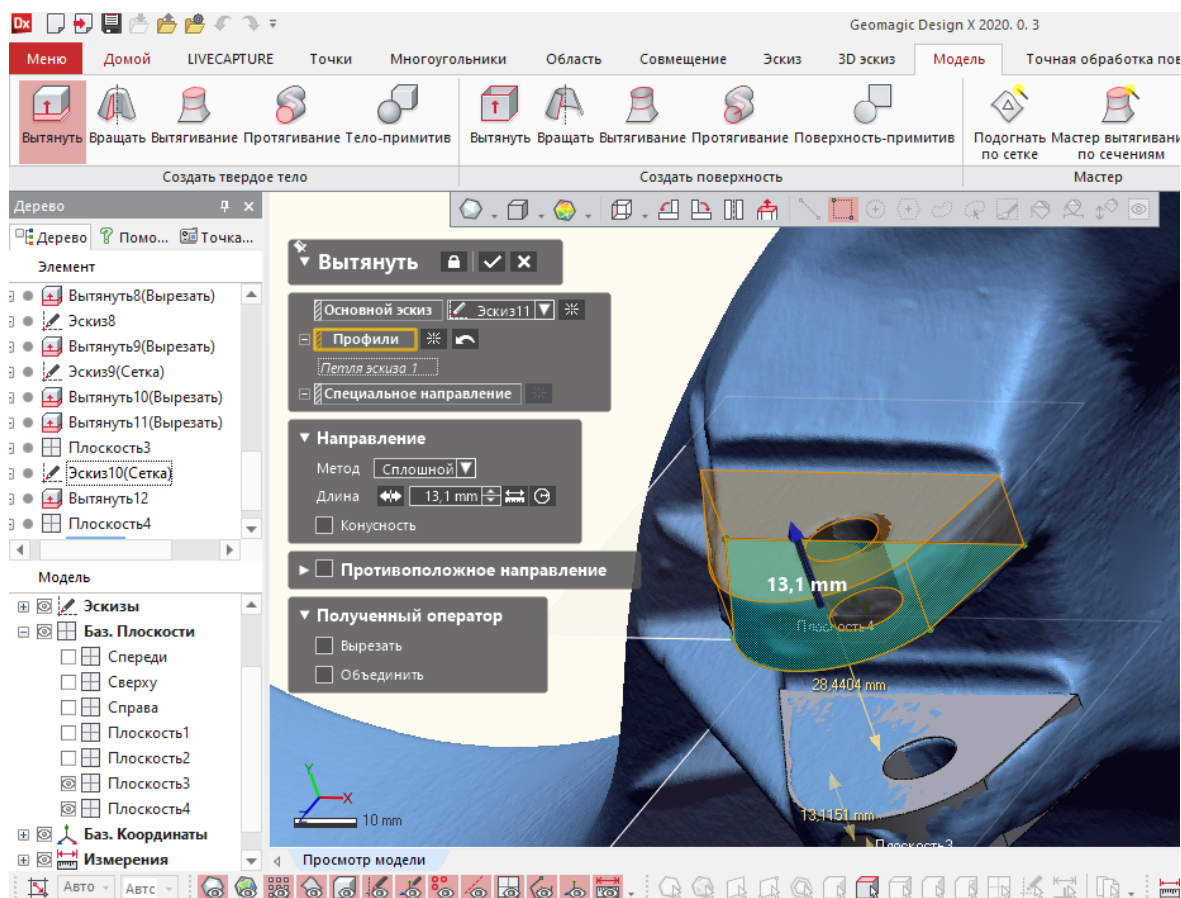


Рис. 108. Вытягивание второго элемента крепления

Включаем плоскость сверху и измеряем расстояние до выступа (111,18 мм) поставив совмещение по Y. Строим плоскость, сместив ее в обратную сторону на -111,18 мм.

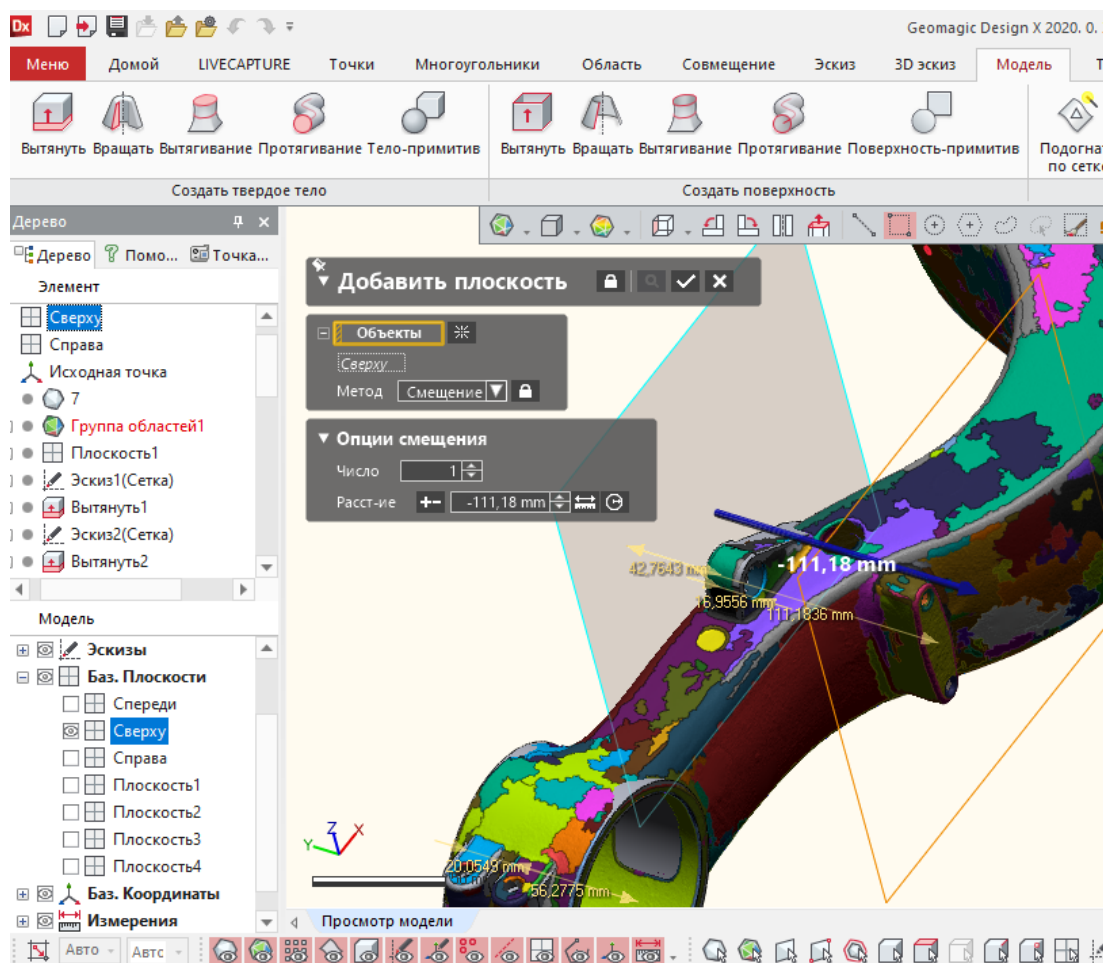


Рис. 109. Добавление плоскости

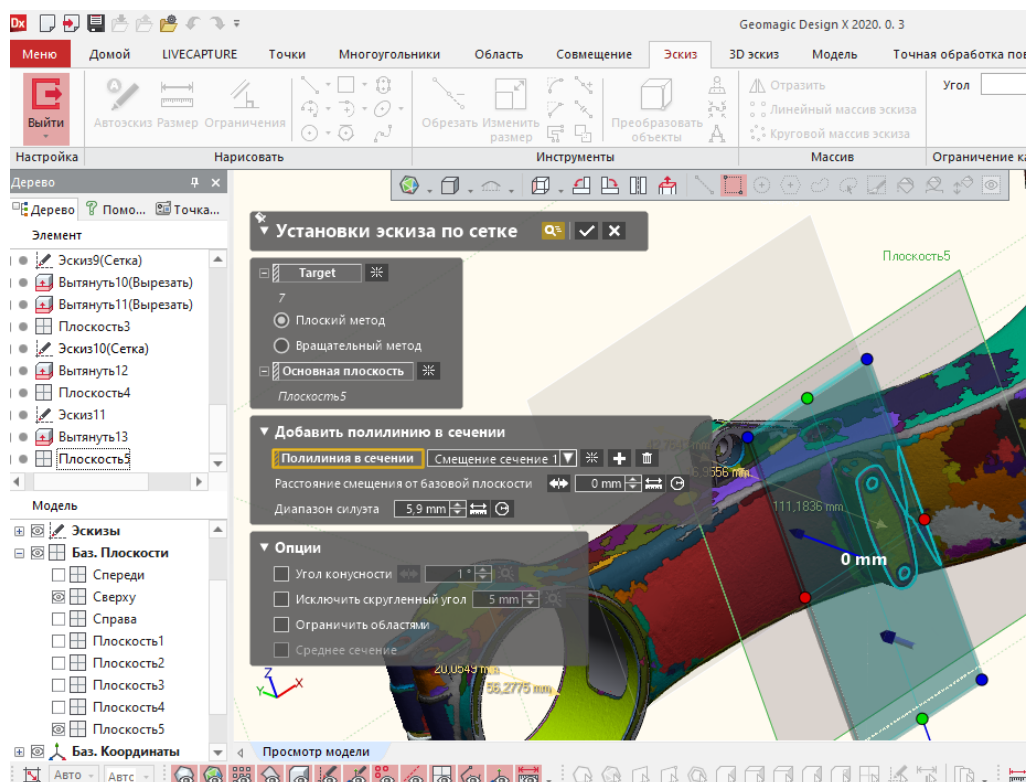


Рис. 110. Установка эскиза по сетке

Строим эскиз по сетке, уменьшаем зону и ставим диапазон допуска 5 мм. Очерчиваем окружности под болты, устанавливаем ограничение равного радиуса и задаем размер 2,5 мм, размер от оси X 22,8, размер от оси Y 159,15, размер между отверстиями 46 мм. Инструментом *Смещение*, выбрав 1 окружность, смещаем наши окружности на 4,5 мм и соединяем их дугой, для которой ставим ограничения касательной, и удаляем лишнюю геометрию.

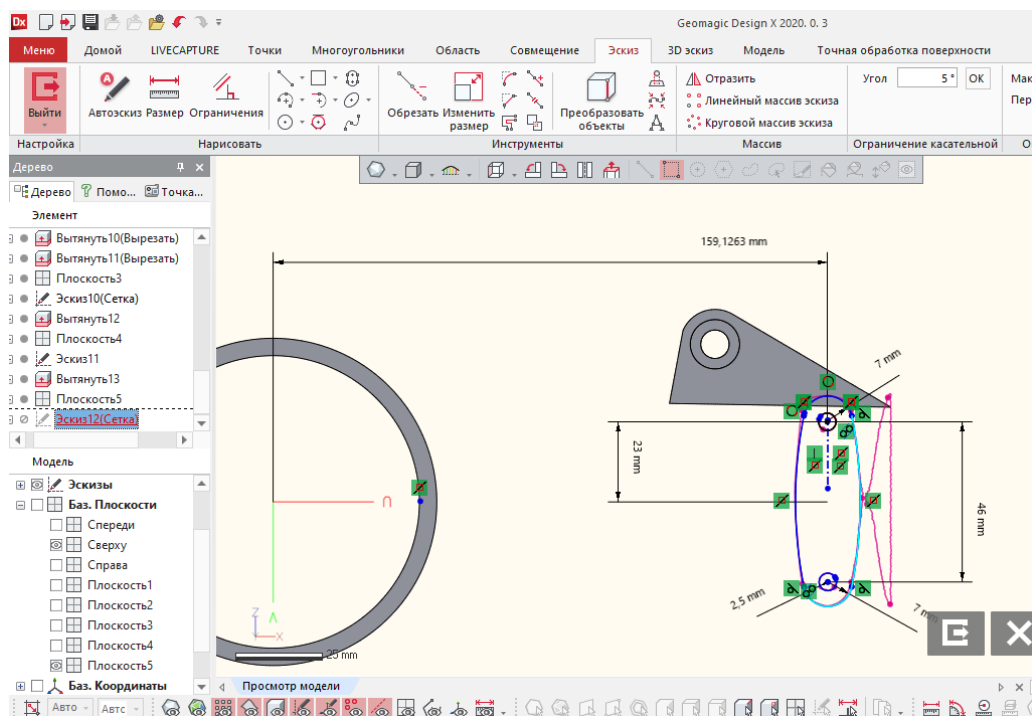


Рис. 111. Задание размеров в эскизе

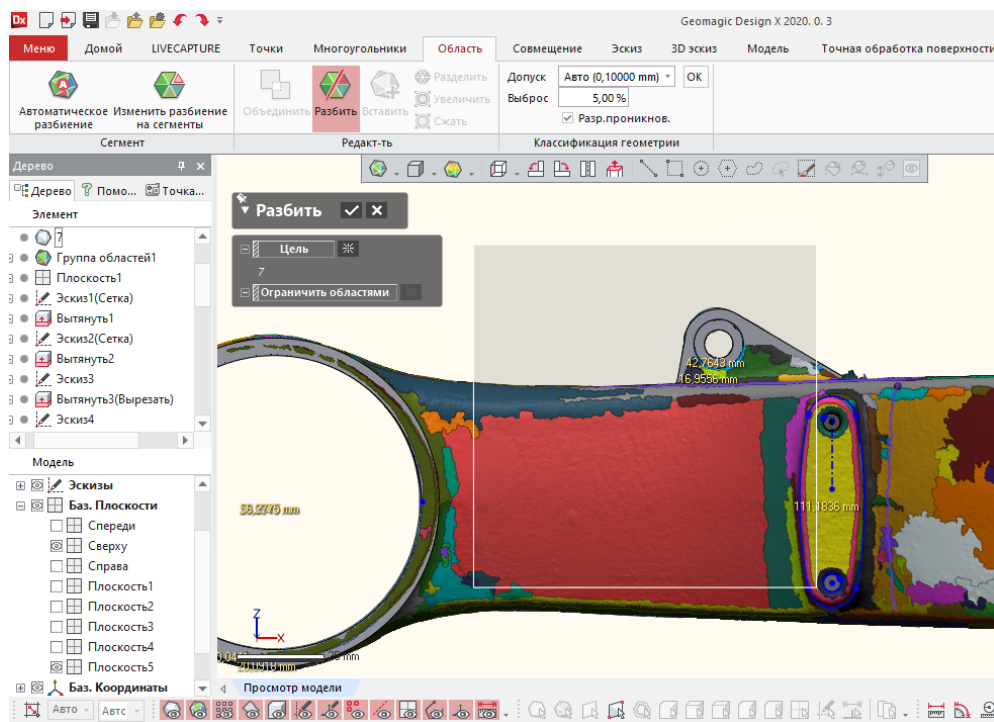


Рис. 112. Разбиение области

Далее отключаем *Видимость плоскости*, переходим во вкладку *Область / Разбить* и проводим линии, как показано на рис. 111. Выбираем области вокруг нашего крепления, не заходя на скругление, и нажимаем *Объединить*. Переходим во вкладку *Модель* и вытягиваем наш эскиз до области.

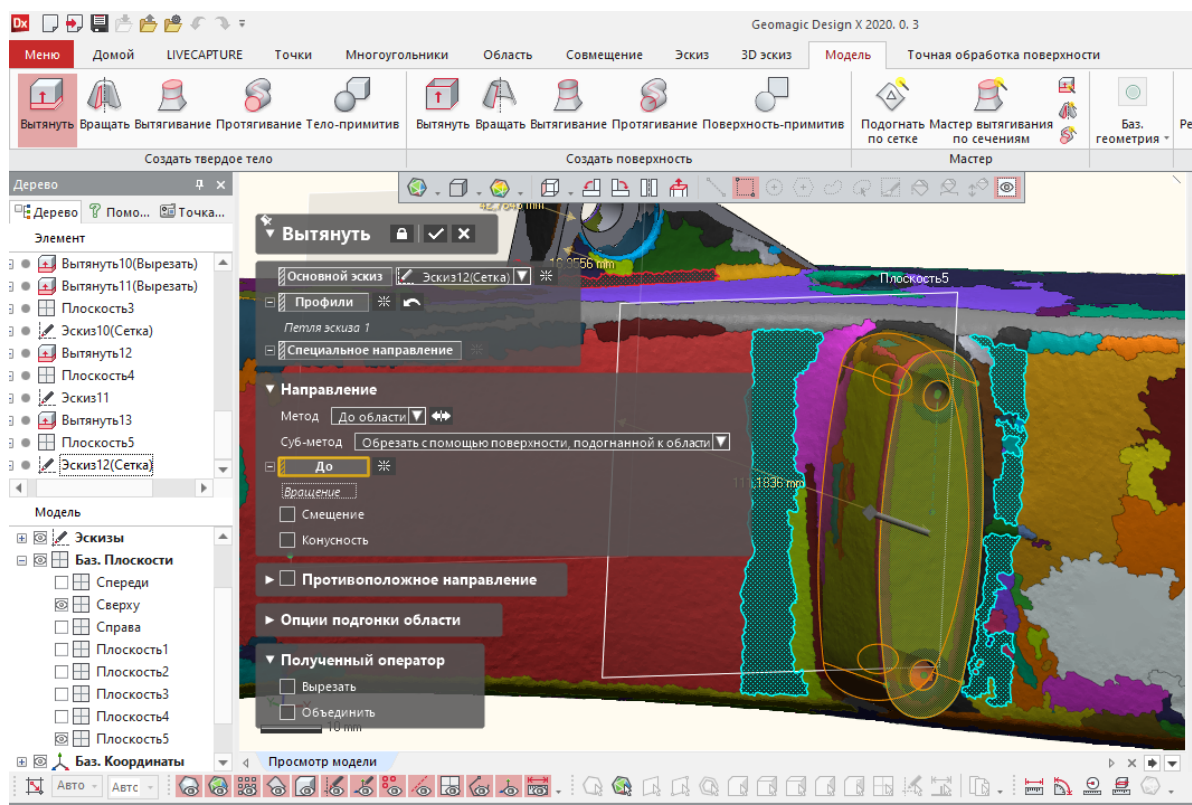


Рис. 113. Вытяжение элемента

Строим крепление маятника к двигателю. Включаем *Плоскость сверху* и строим эскиз по сетке, растянув диапазон по всей длине втулки. Добавим плоскость, смещение 100 мм, принимаем эскиз.

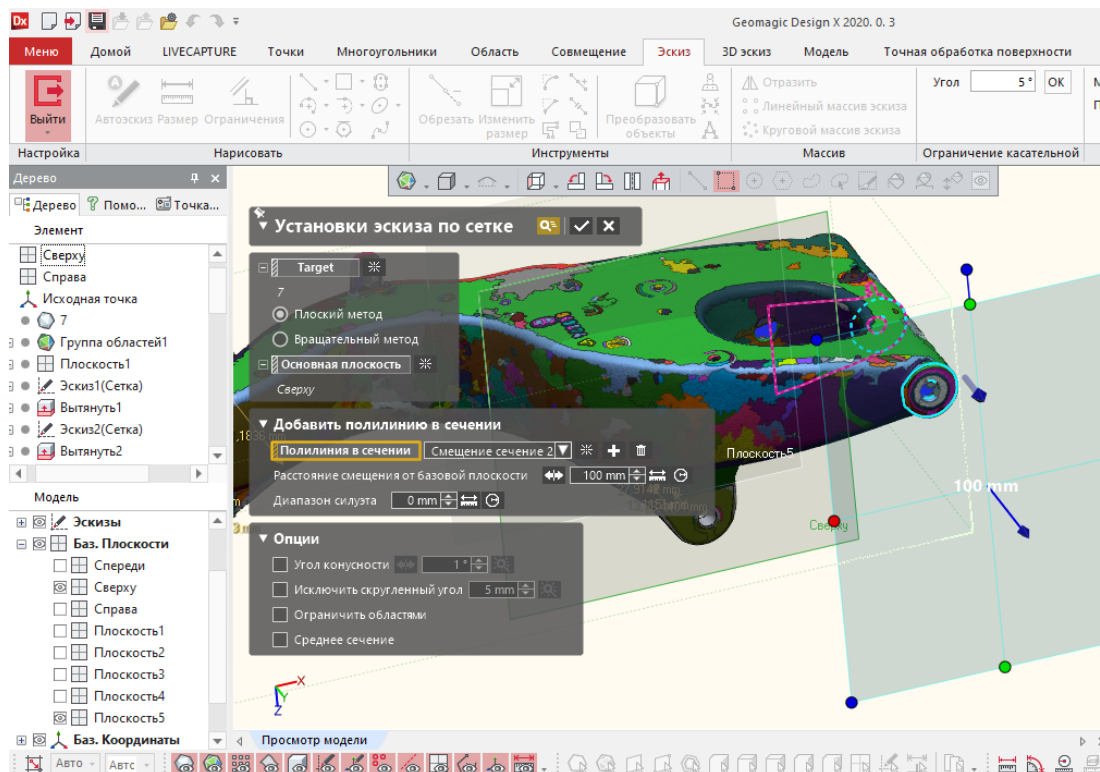


Рис. 114. Создание элемента

Строим окружности 6 мм и 18 мм. Задаем размер от осей до центра окружностей 153,2 мм, выходим и включаем *Видимость областей*. Измеряем расстояние от плоскости до торцов втулки и вытягиваем на 104 мм в каждую сторону.

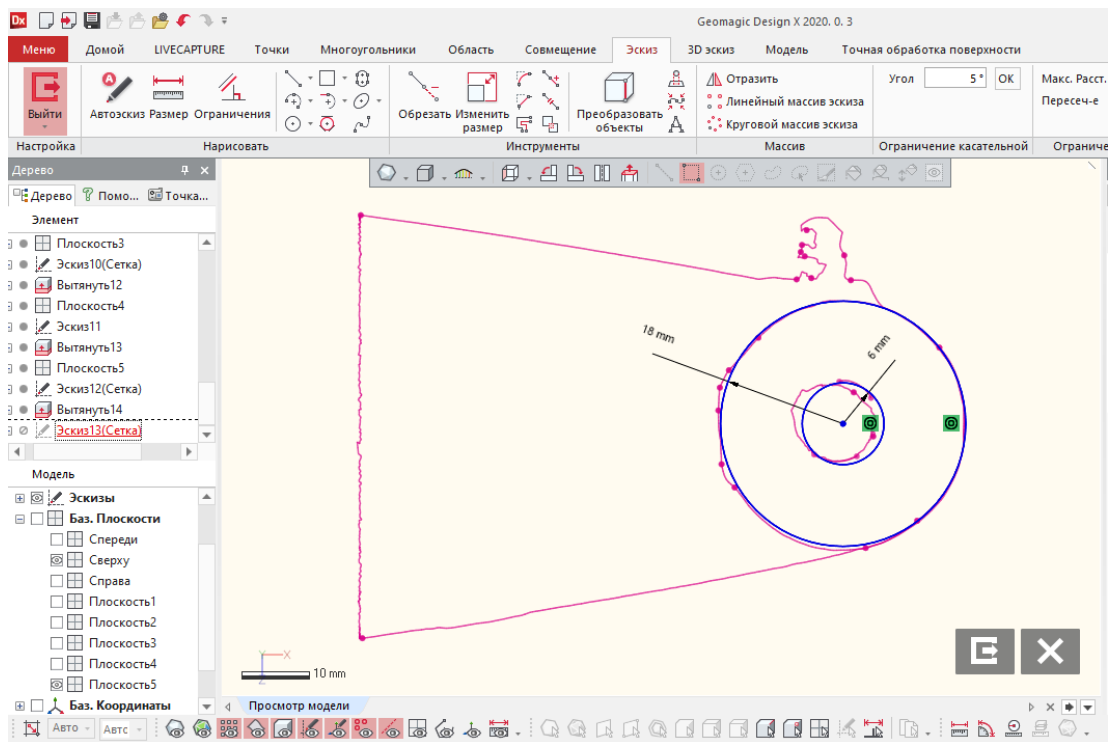


Рис. 115. Простановка размеров в эскизе

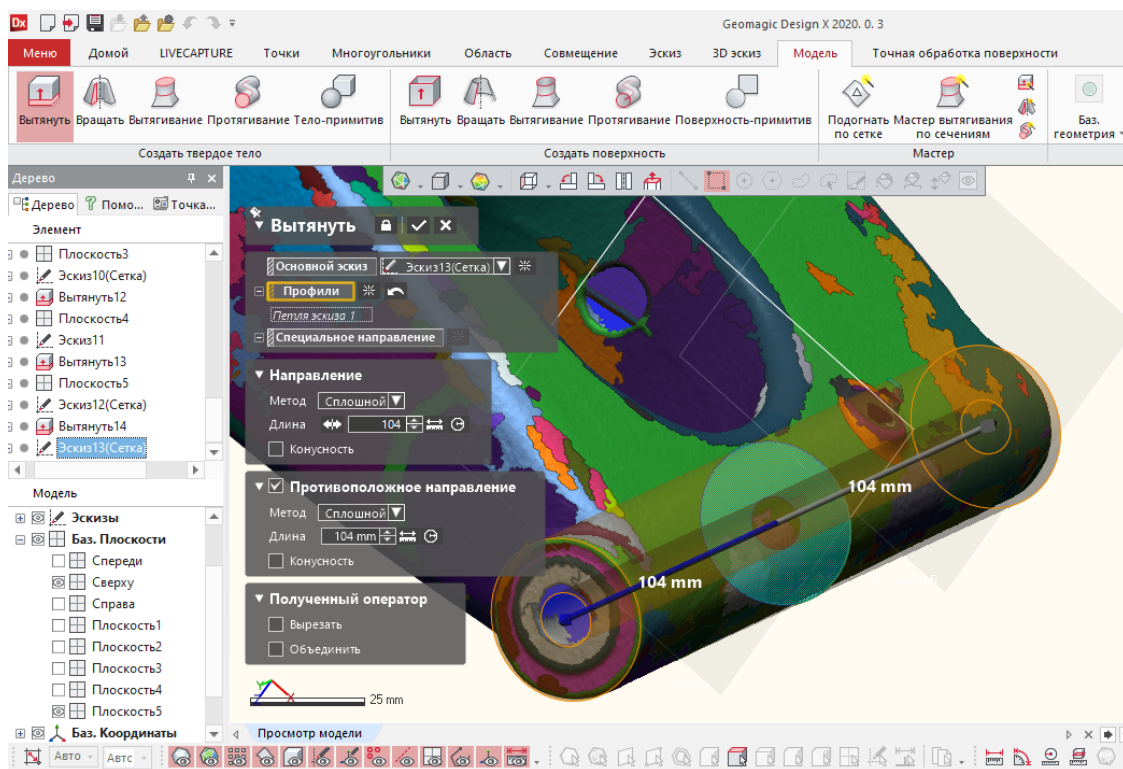


Рис. 116. Вытяжение цилиндрического элемента

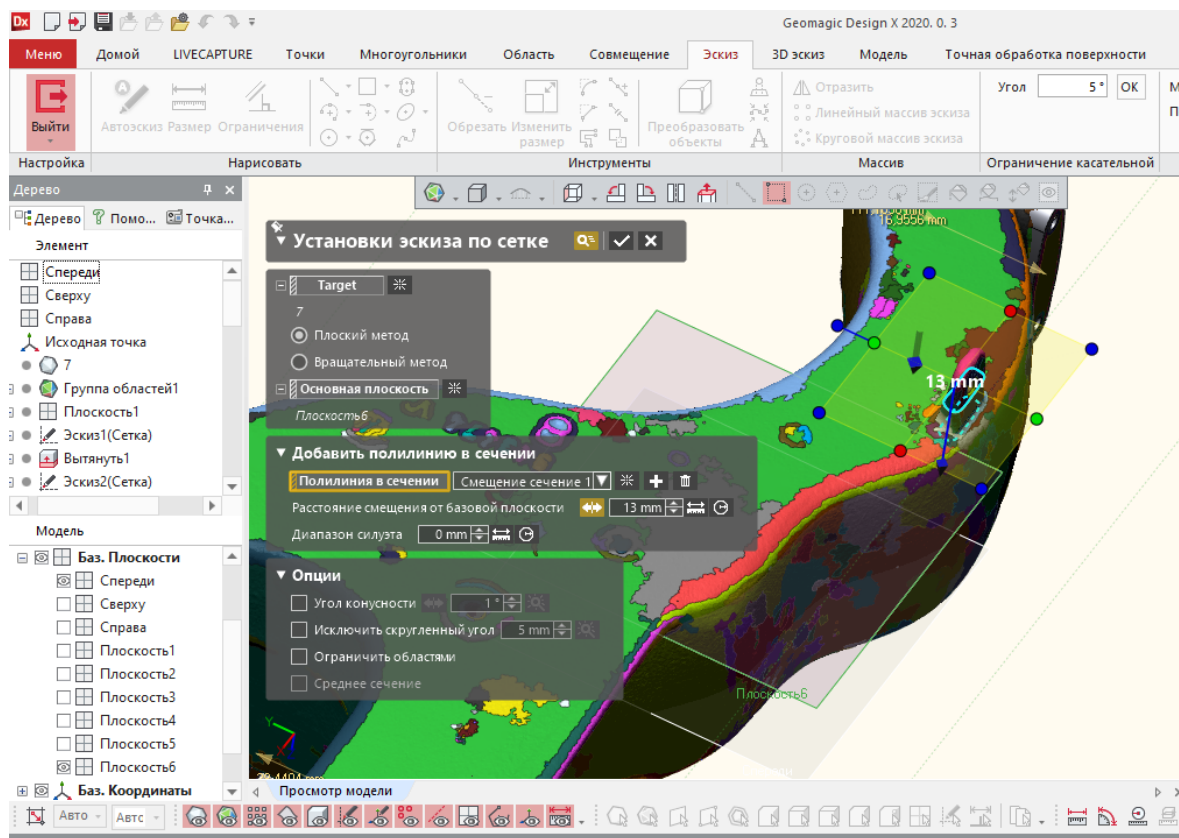


Рис. 117. Установка эскиза по сетке

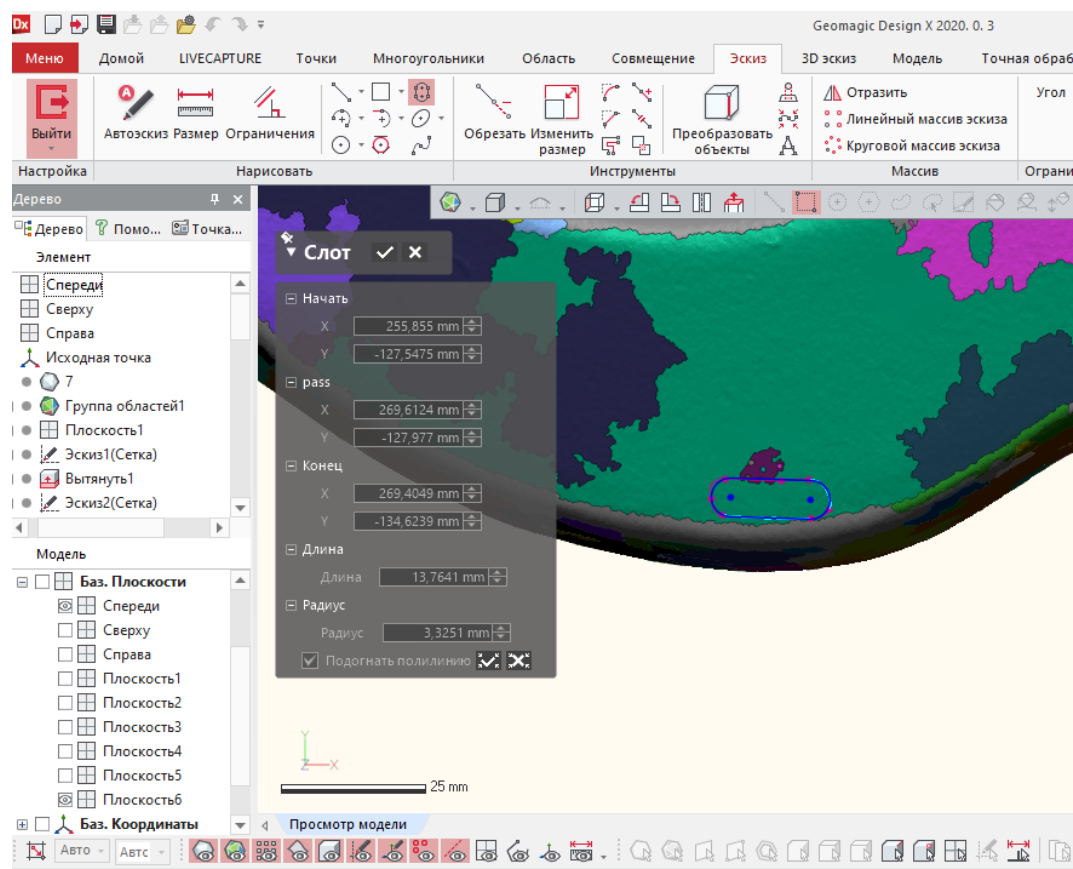


Рис. 118. Эскиз слот

Включаем плоскость спереди для построения маленького ушка. Добавляем плоскость, сместив на -35 мм. Строим эскиз по сетке (расстояние от боковой плоскости 6,5 мм, диапазон смещения 0 мм), очерчиваем эскиз прямоугольником, задав все нужные ограничения. Вытягиваем на -28 мм с конусностью 4°.

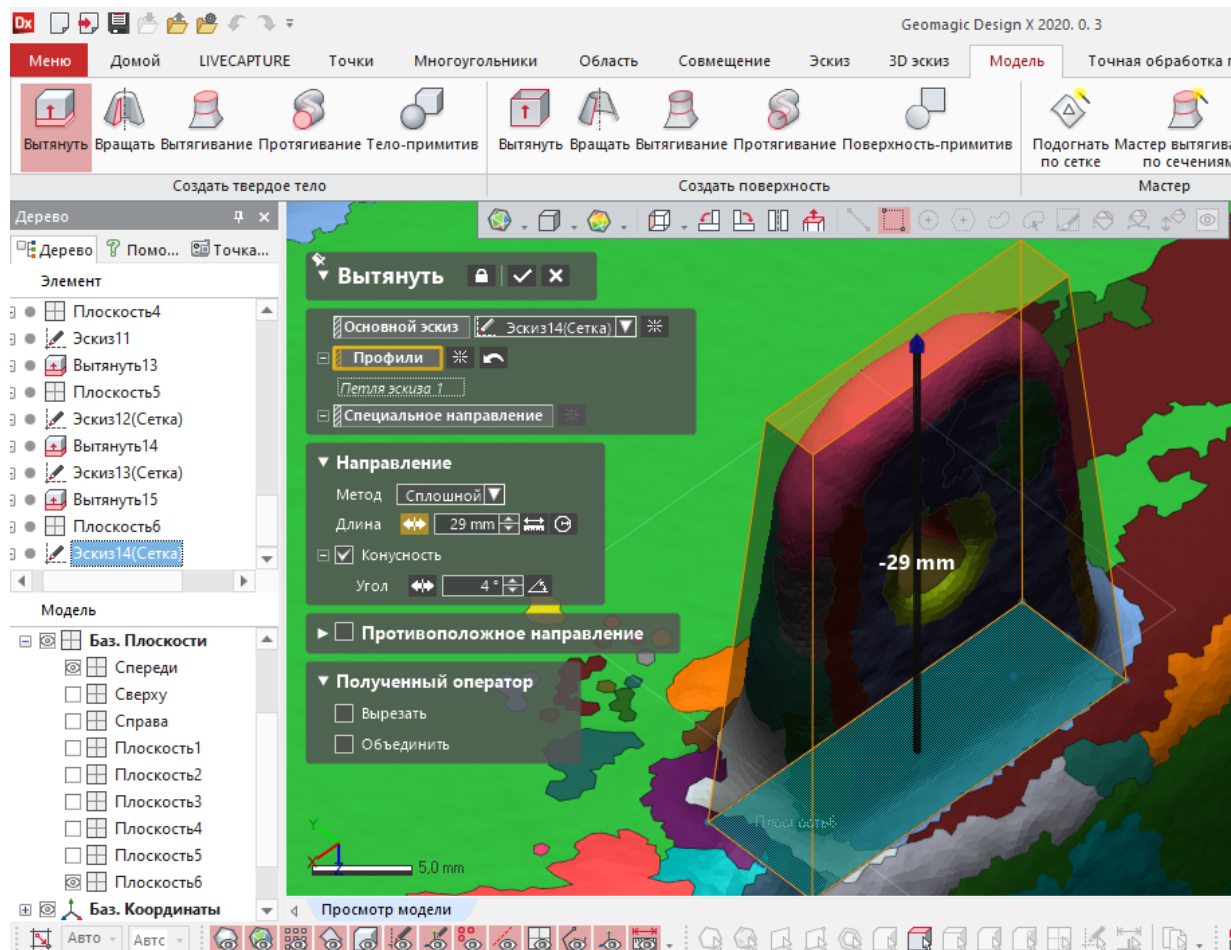


Рис. 119. Вытягиваем прямоугольник

Далее командой *Редактировать* делаем скругления радиусом 5 мм, выбираем плоскости, через которые должно проходить отверстие, находим среднюю плоскость, с помощью эскиза по сетке извлекаем отверстие диаметром 3 мм и командой *Выдавить* вырезаем его.

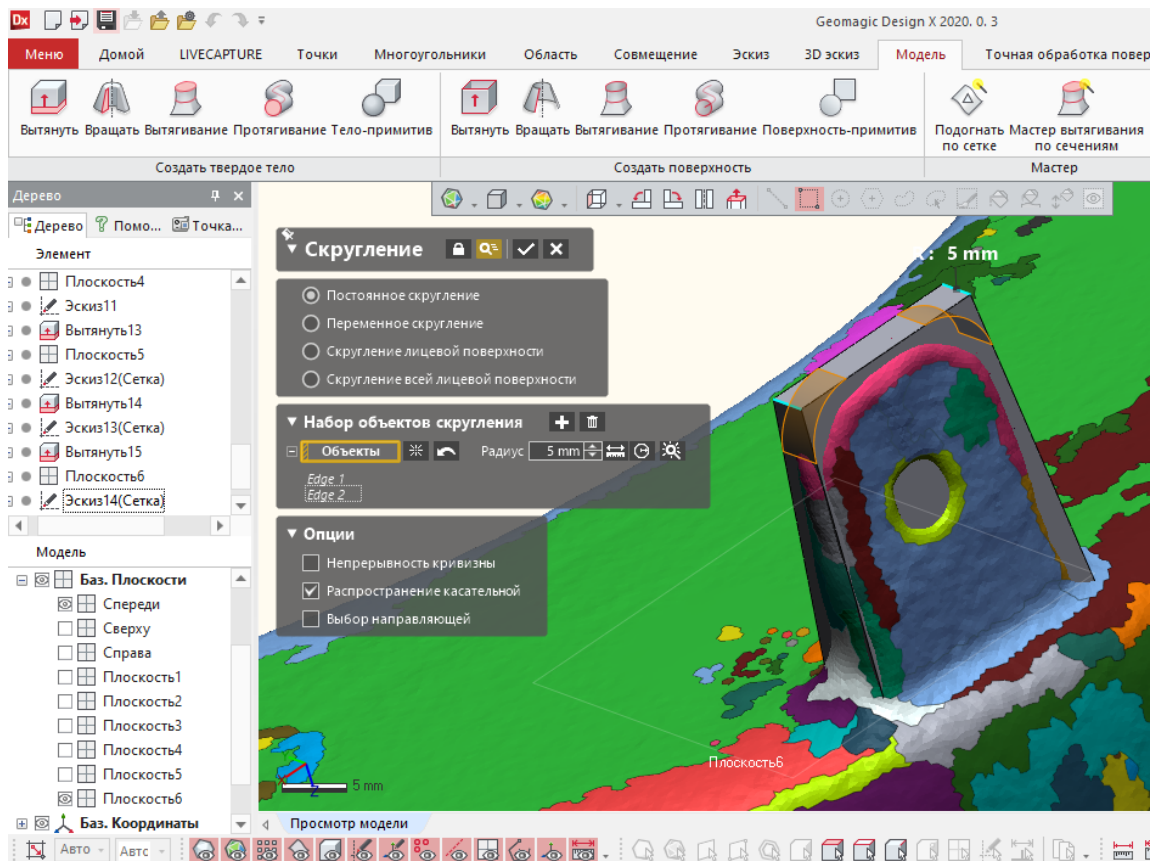


Рис. 120. Выполняем скругление

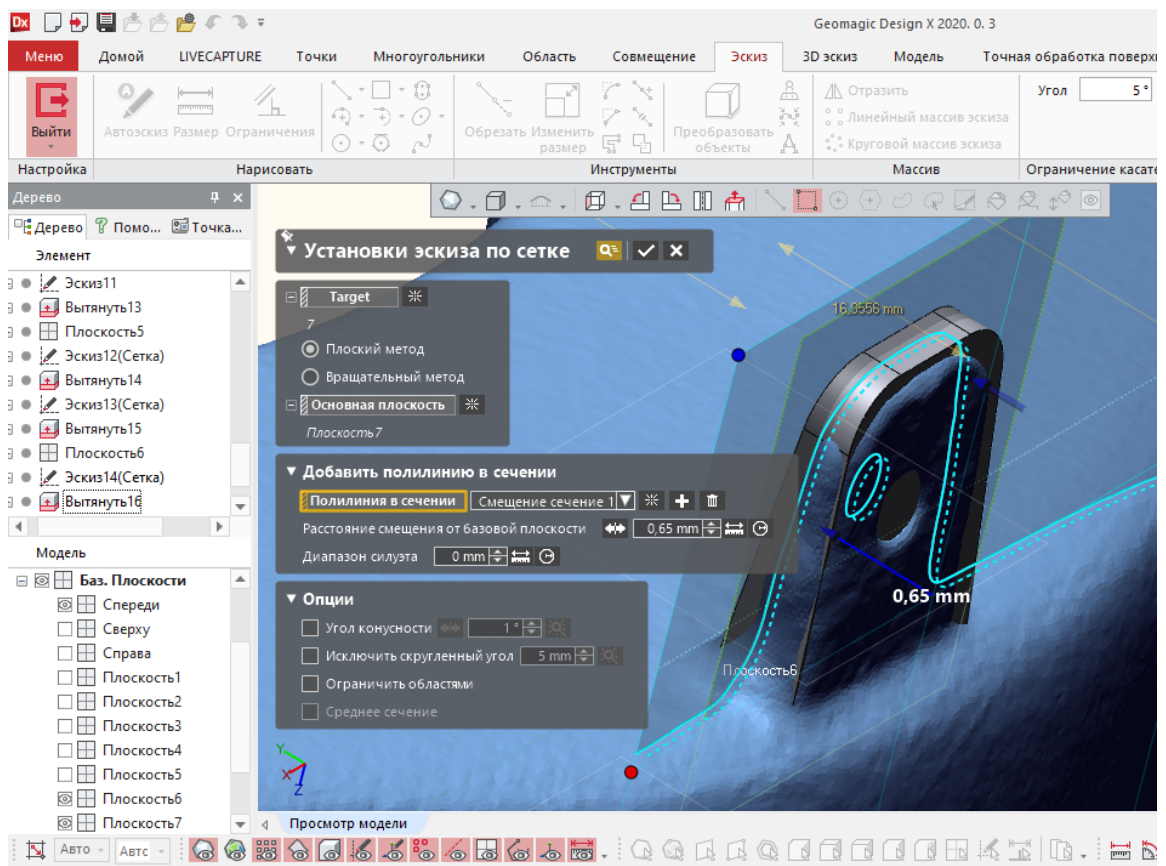


Рис. 121. Эскиз по сетке

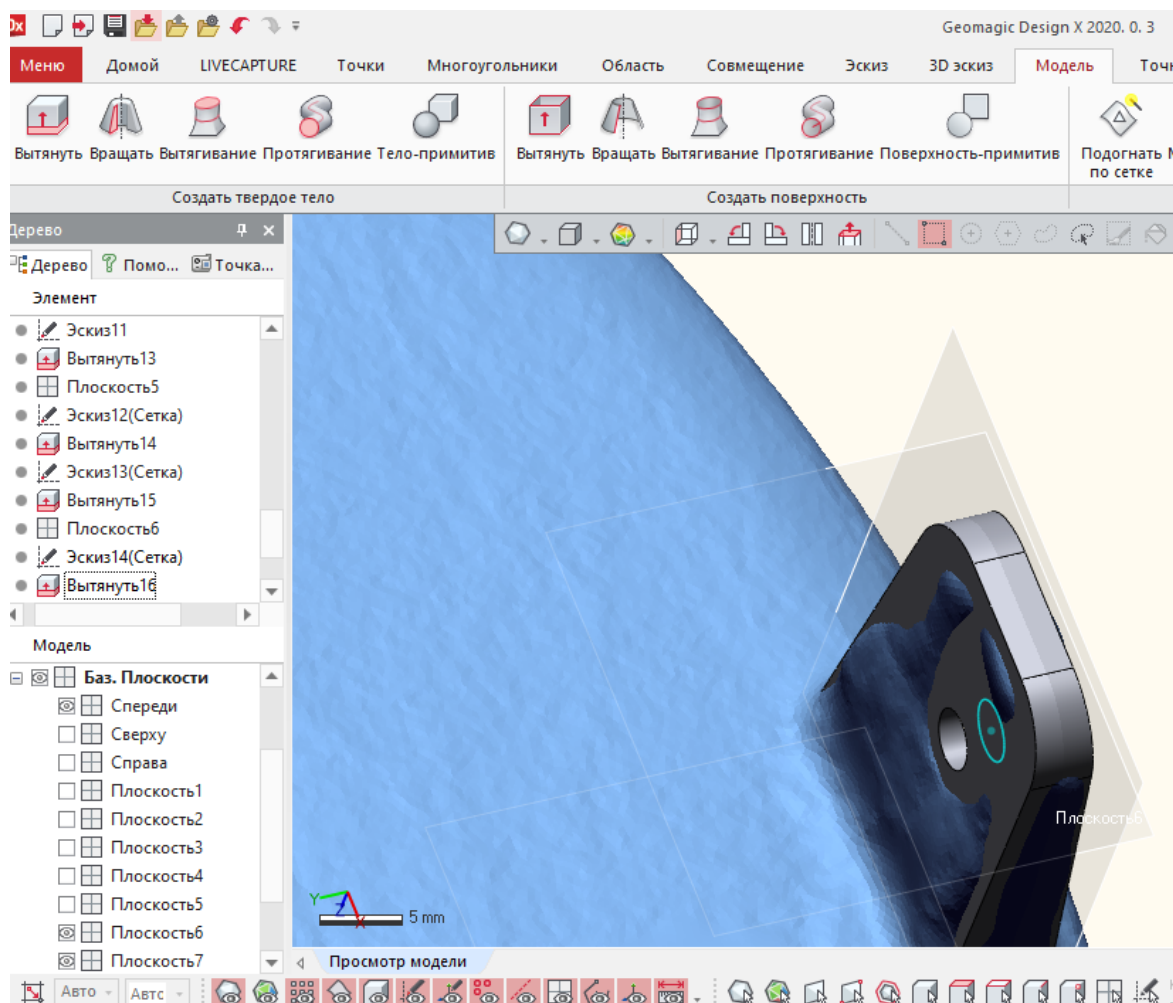


Рис. 122. Создаем отверстие

Переходим к построению основного тела маятника. Для этого необходимо построить ограничивающие поверхности. В качестве этих поверхностей будут выступать: зажим хаба, верхняя поверхность, 2 боковые, нижняя поверхность и цилиндр крепления маятника.

Выключаем *Видимость модели* и строим эскиз, по сетке внутреннего цилиндра сместив на 3 мм для построения наружного цилиндра крепления. Извлекаем окружность наружного цилиндра и преобразуем окружность минимального диаметра (18 мм). Вытягиваем эскиз до поверхности, выбрав противоположный торец втулки.

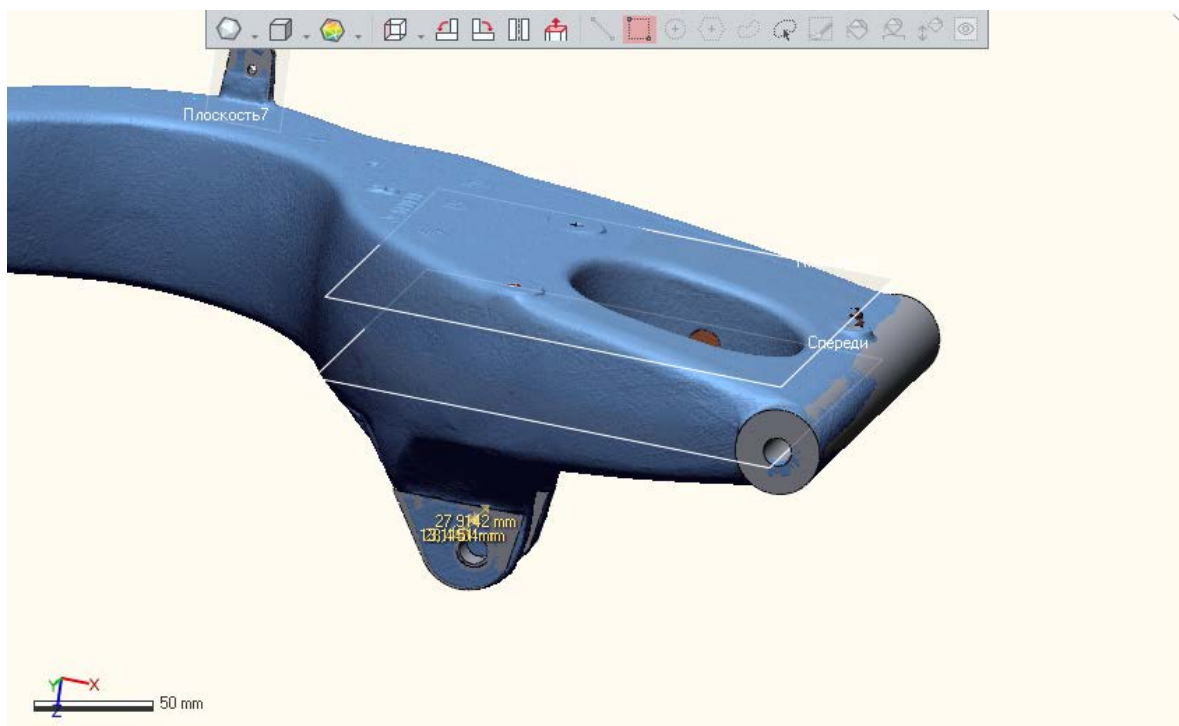


Рис. 123. Модель с крепежами

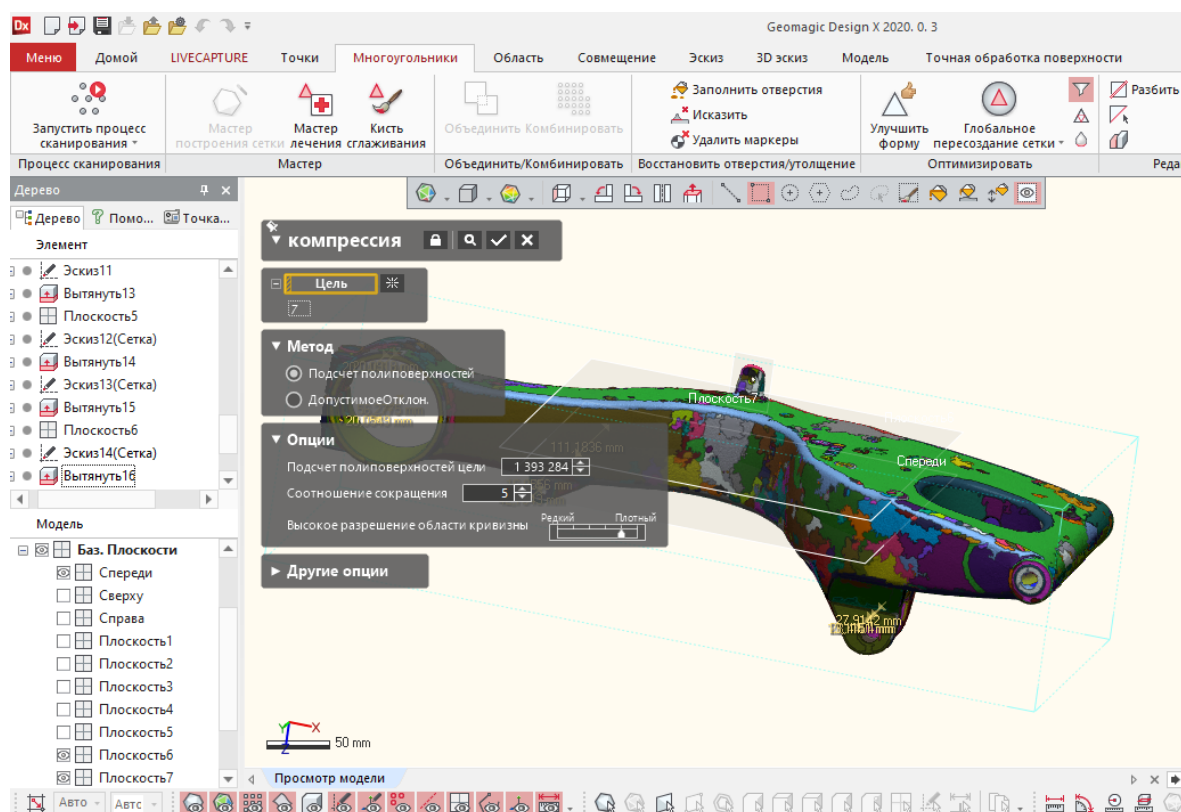


Рис. 124. Компрессия

Приступаем к работе с поверхностями. Если мы посмотрим на нашу модель, она у нас уже разбита на области, но так как у нас скан сделан в максимальном разрешении, он весит довольно много, однако деталь у нас литая, соответственно, допуск к поверхностям около 2 мм, то можно перейти во

вкладку *Многоугольники* и сделать компрессию, т. е. уменьшить количество полигонов на 5%. Таким образом, мы снизим нагрузку программы на компьютер.

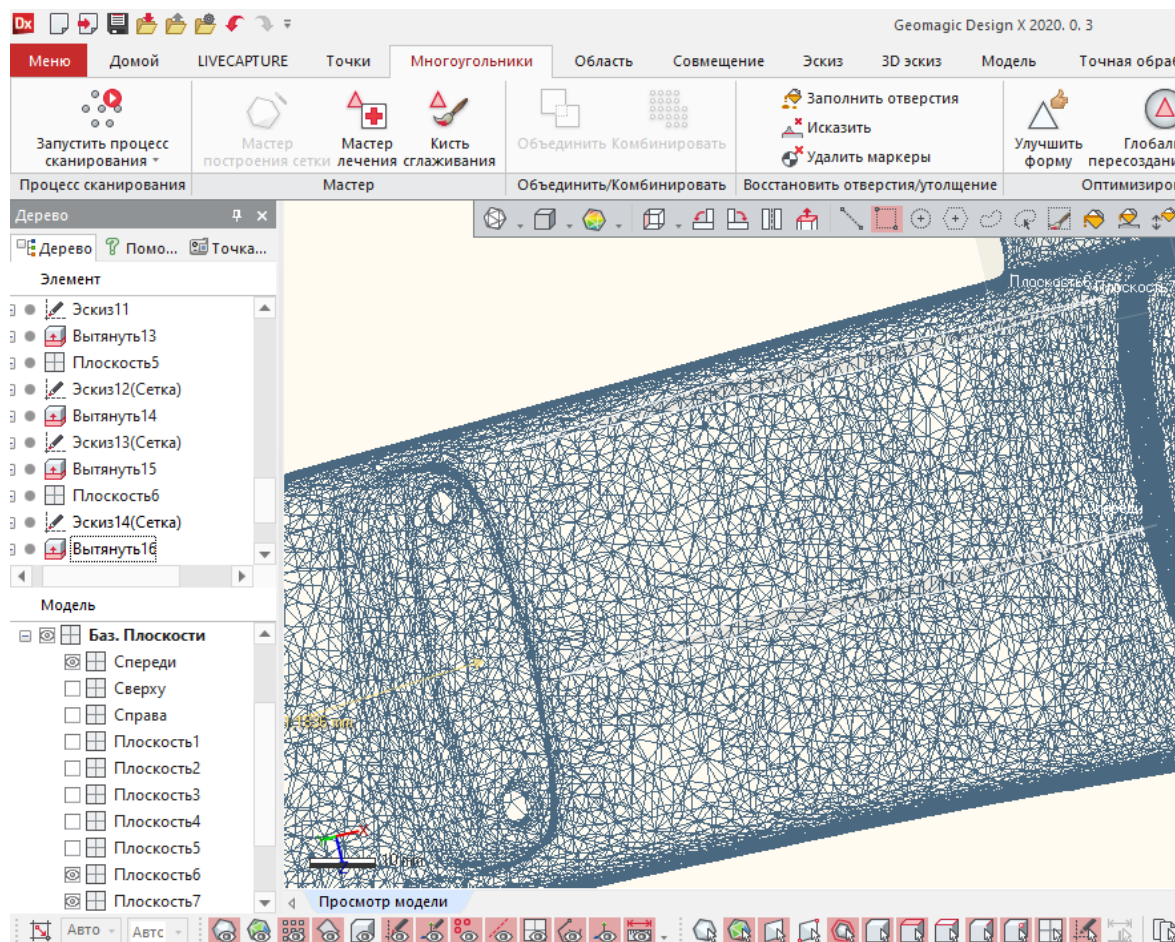


Рис. 125. Полигональная сетка

Перейдя во вкладку *Области*, мы видим, что наша модель состоит из множества областей, однако нам нужно выделить только 4 области. Наиболее простым способом это можно сделать с помощью кисти. Выключаем *Видимость твердых тел*, выбираем *Кисть* и с зажатой клавишей *ALT* выбираем удобный ее размер и выбираем нужную область, не заходя на скругления (лишнее можно убрать зажав *CTRL*). Во вкладке *Область* нажимаем *Вставить* и видим одну большую область, с которой мы будем в дальнейшем работать. Повторяем данные операции для боковых стенок и для нижней, таким образом, у нас получится 4 области.

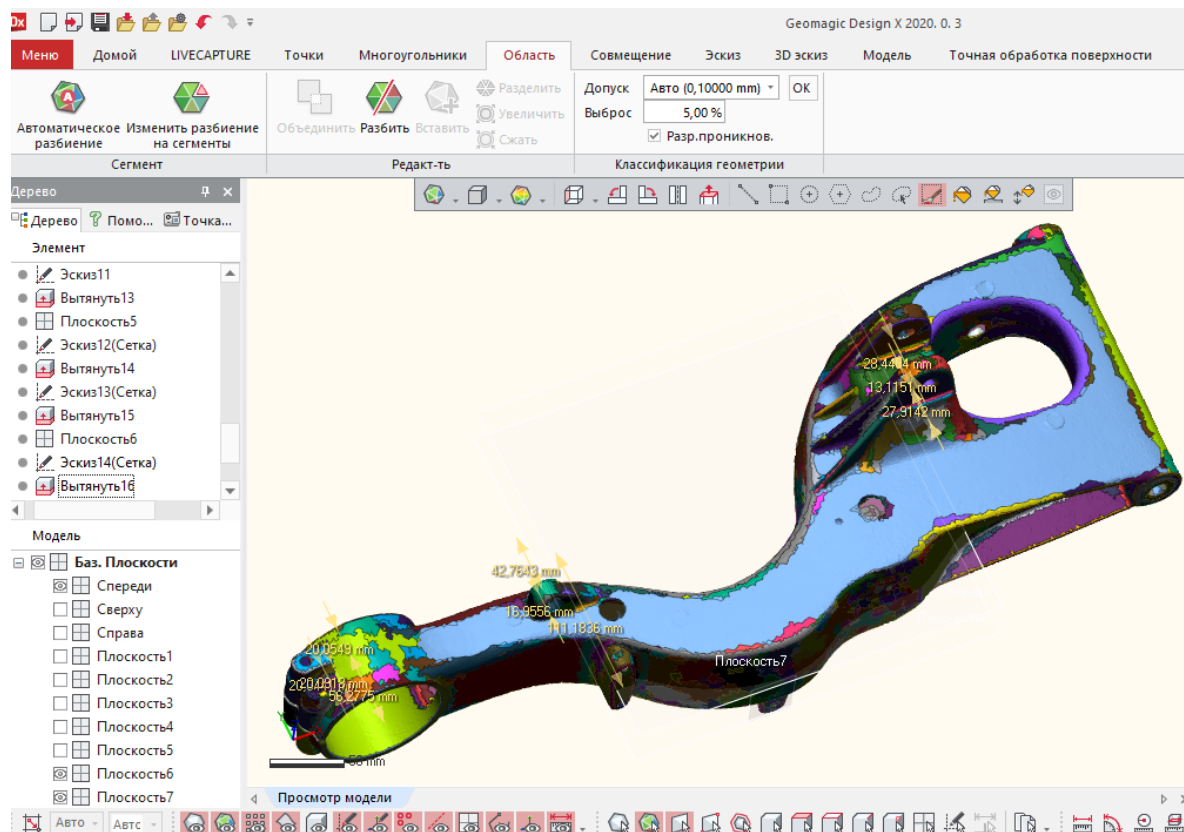


Рис. 126. Замеры

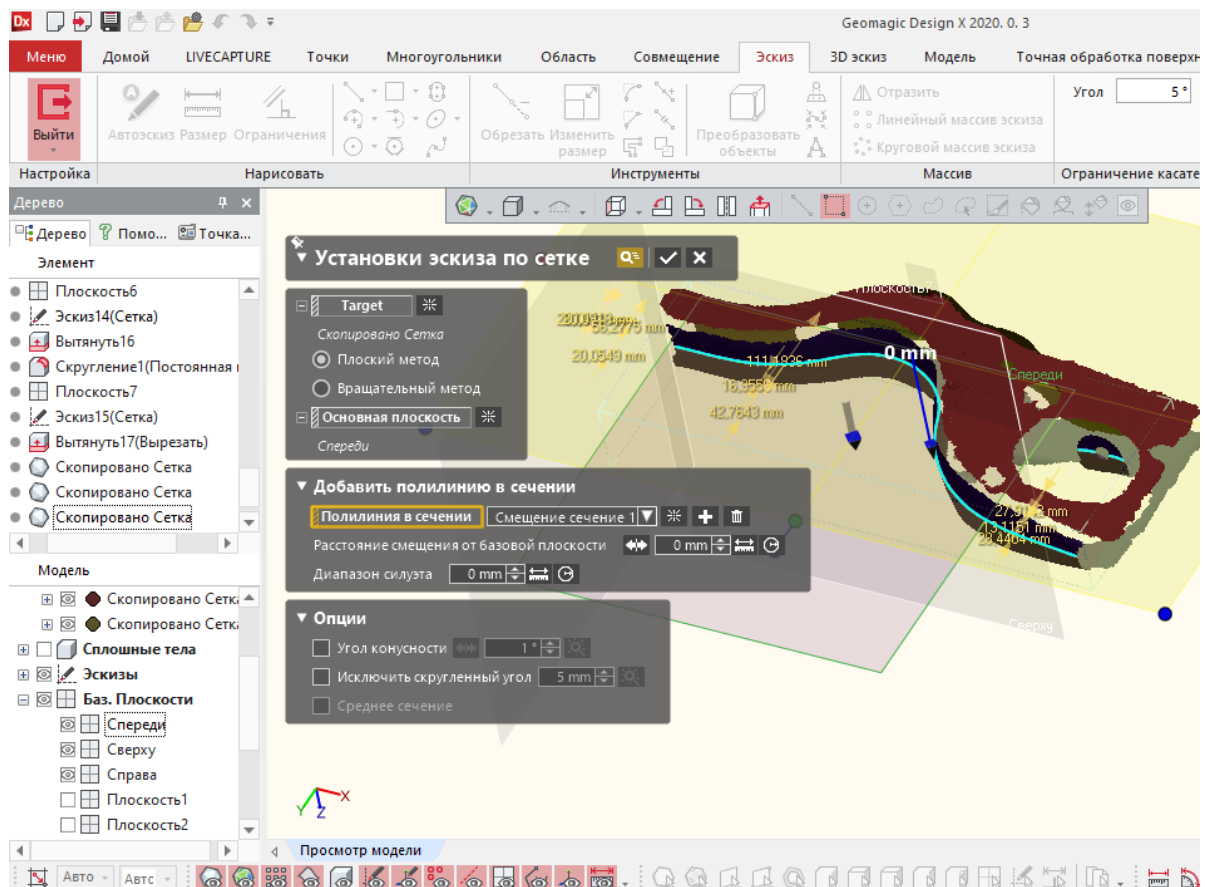


Рис. 127. Установка эскиза по сетке

Выбираем область и нажимаем *CTRL+C* и *CTRL+V*, в сетках появится только эта область. Повторяем копирование для всех областей. Каждый элемент является отдельной сеткой. Включаем *Плоскость спереди*. Строим эскиз по сетке, сжав область, выбираем в качестве объекта сетку (рис. 126).

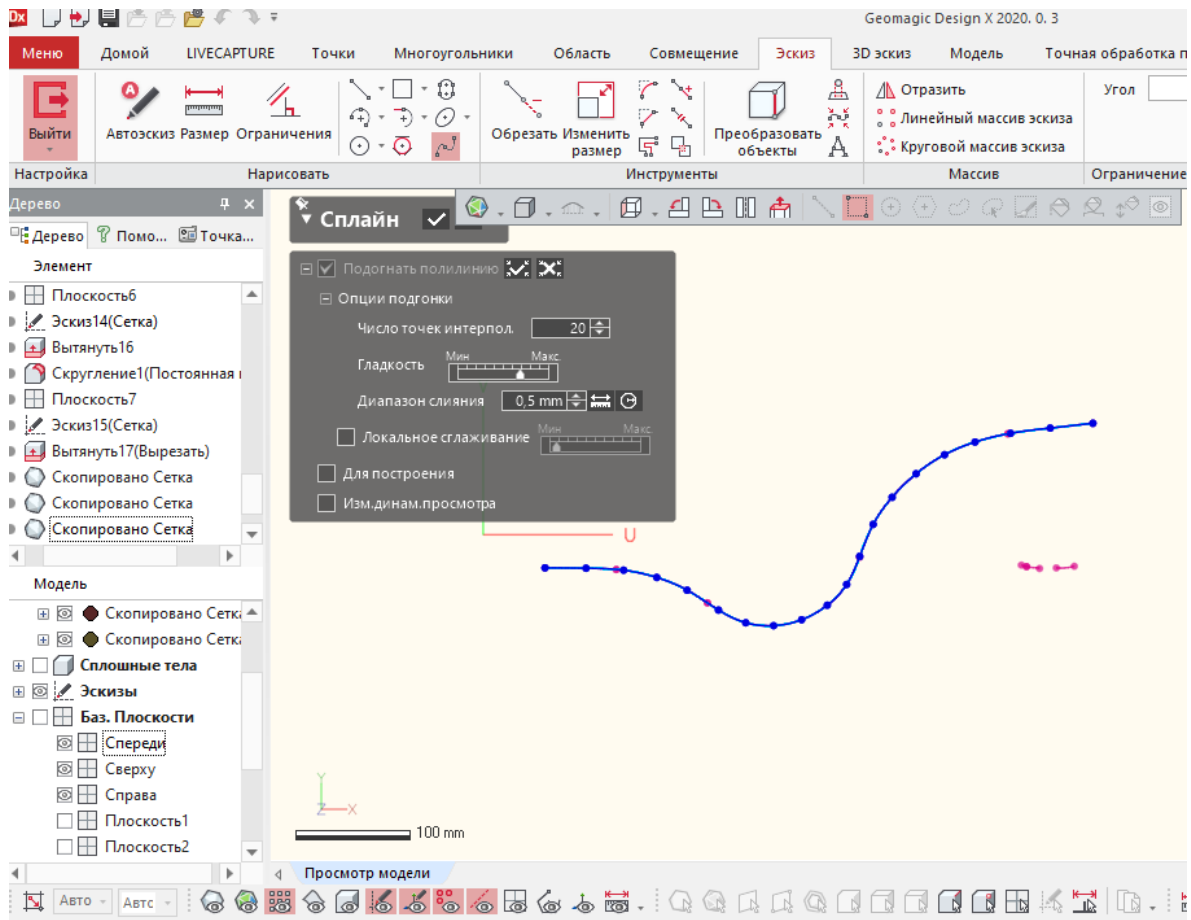


Рис. 128. Сплайн

Строим сплайн с количеством точек интерполяции 20. Включаем сетку и видим, что у нас есть траектория, но нет эскиза, который будем выдавливать по этой траектории. Выбрав плоскость, спереди строим эскиз и выбираем какой-то участок и строим на нем дугу. Таким образом, получаем центр окружности, линией соединяем центр окружности и дугу и выходим из эскиза.

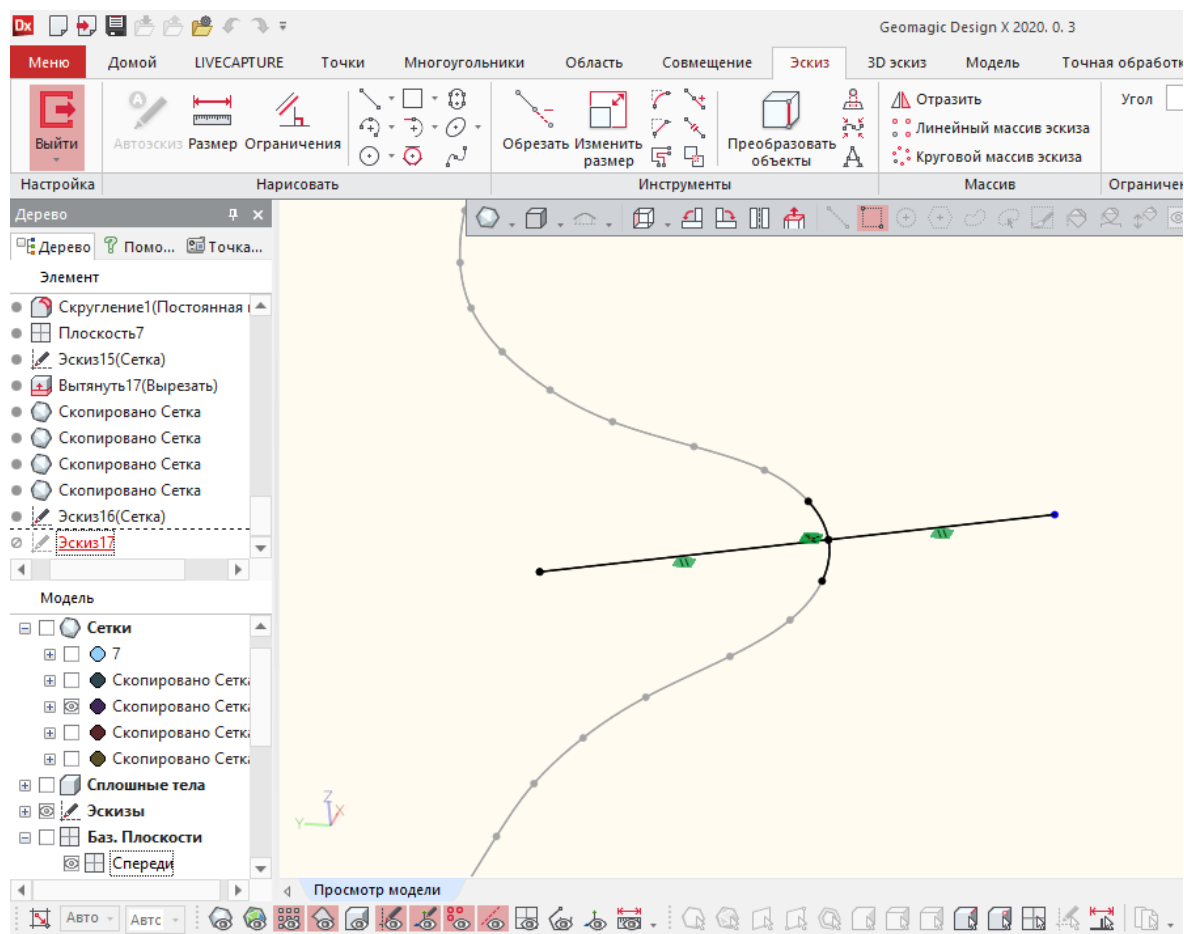


Рис. 129. Создаем вспомогательную плоскость

Во вкладке *Модель / Создать поверхность* командой *Вытянуть* выбираем наш эскиз, отменяем цепь эскизов 1, метод *Средняя плоскость*. Выбираем полученную поверхность и строим эскиз по сетке, в качестве объекта выбираем сетку.

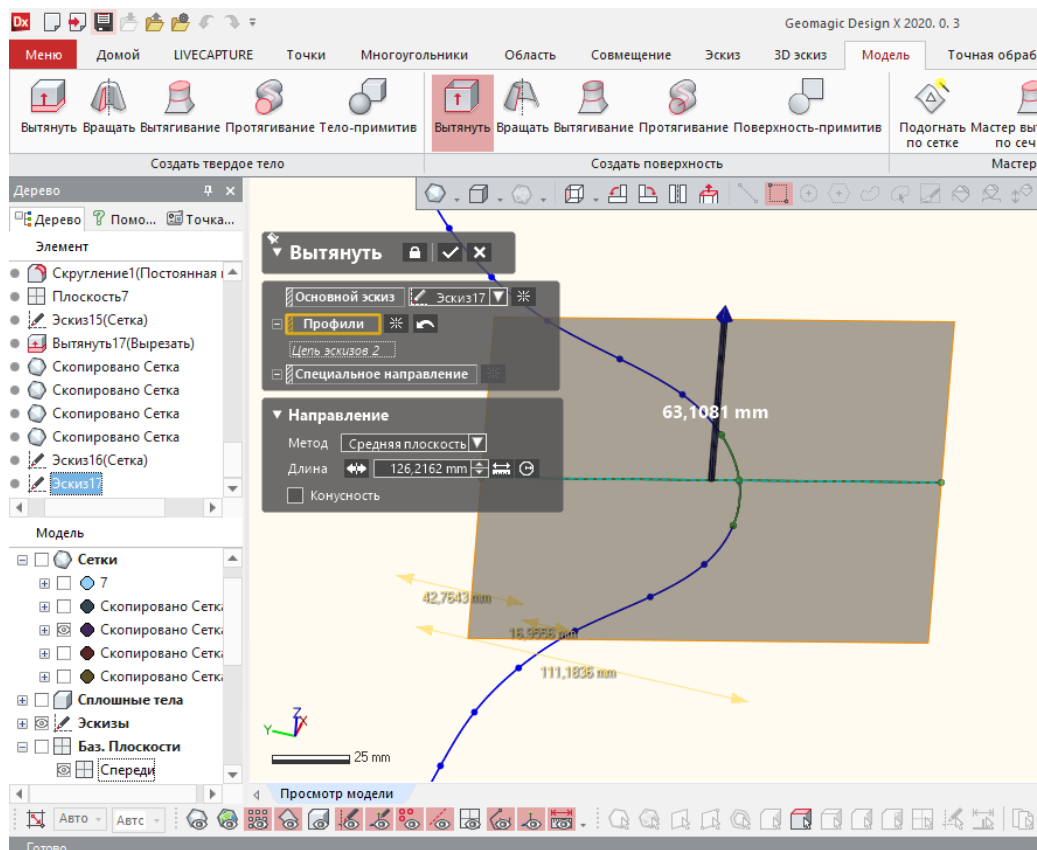


Рис. 130. Вытягиваем плоскость

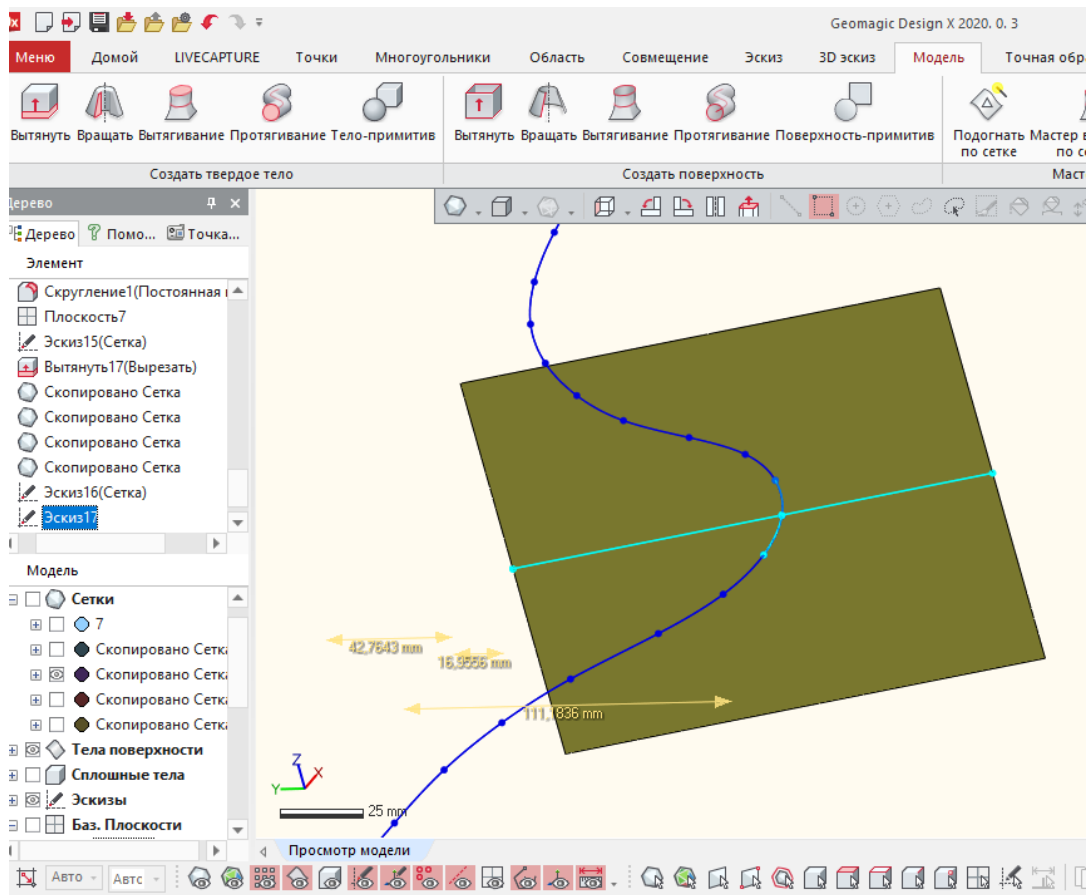


Рис. 131. Вспомогательные плоскости

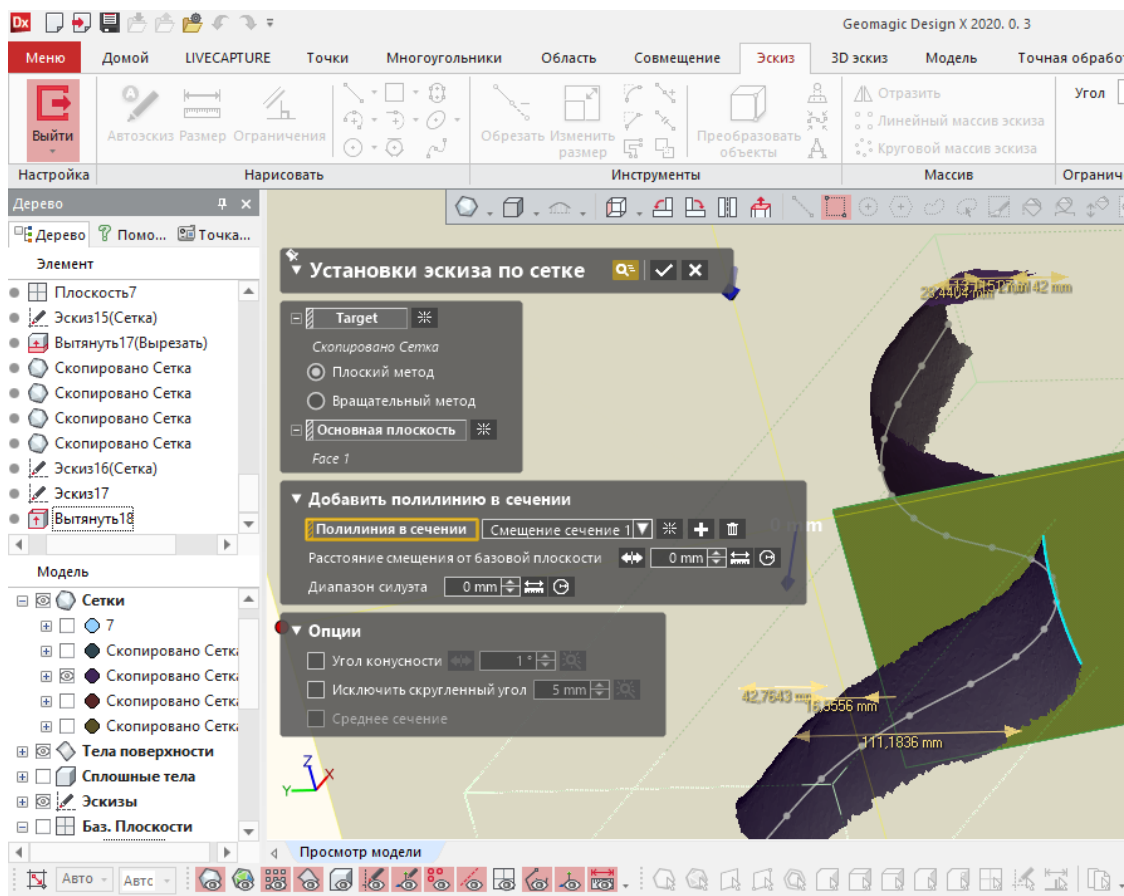


Рис. 132. Установка эскиза по сетке

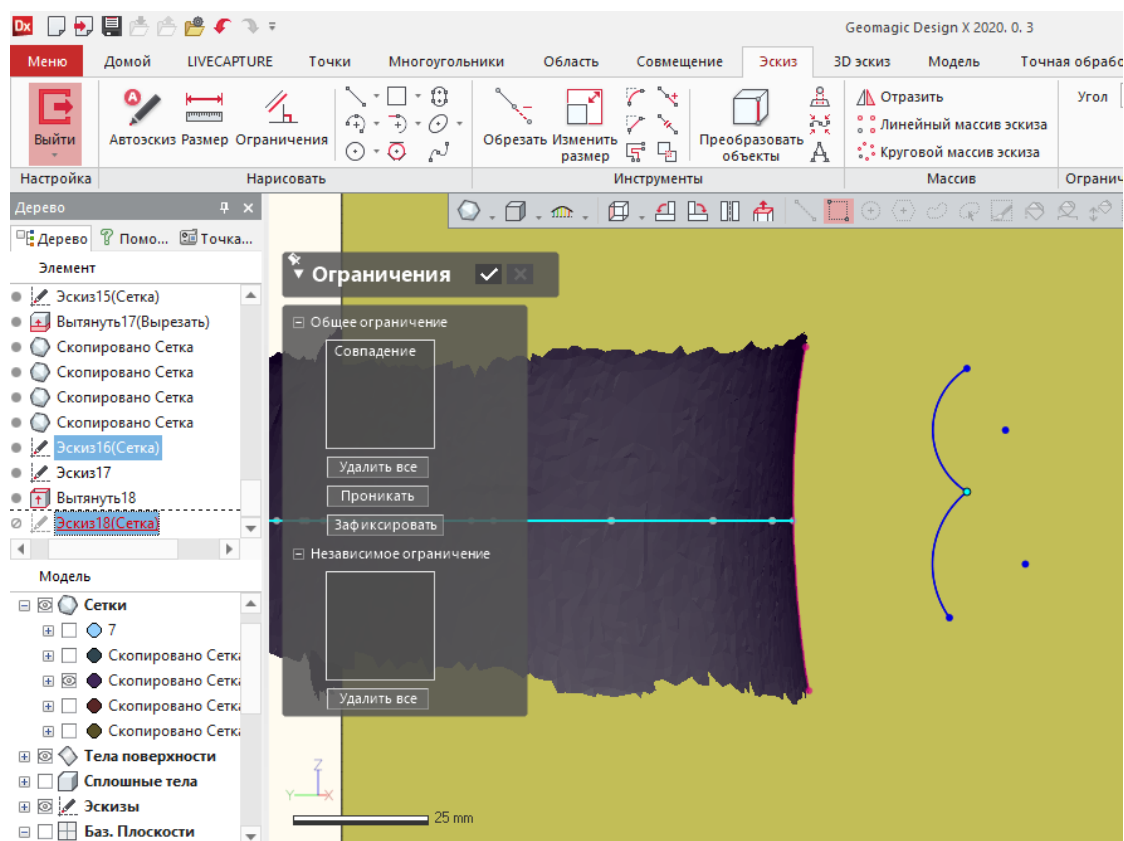


Рис. 133. Создаём дугу в заданной точке

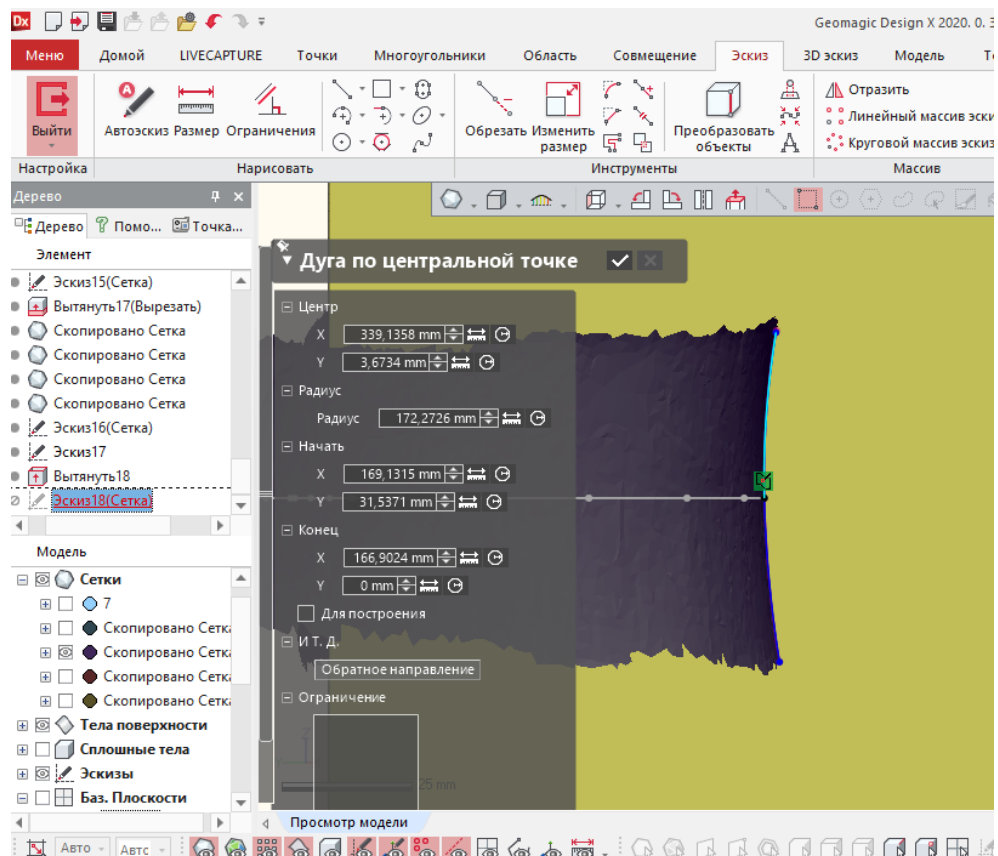


Рис. 134. Выравниваем дугу по центральной точке

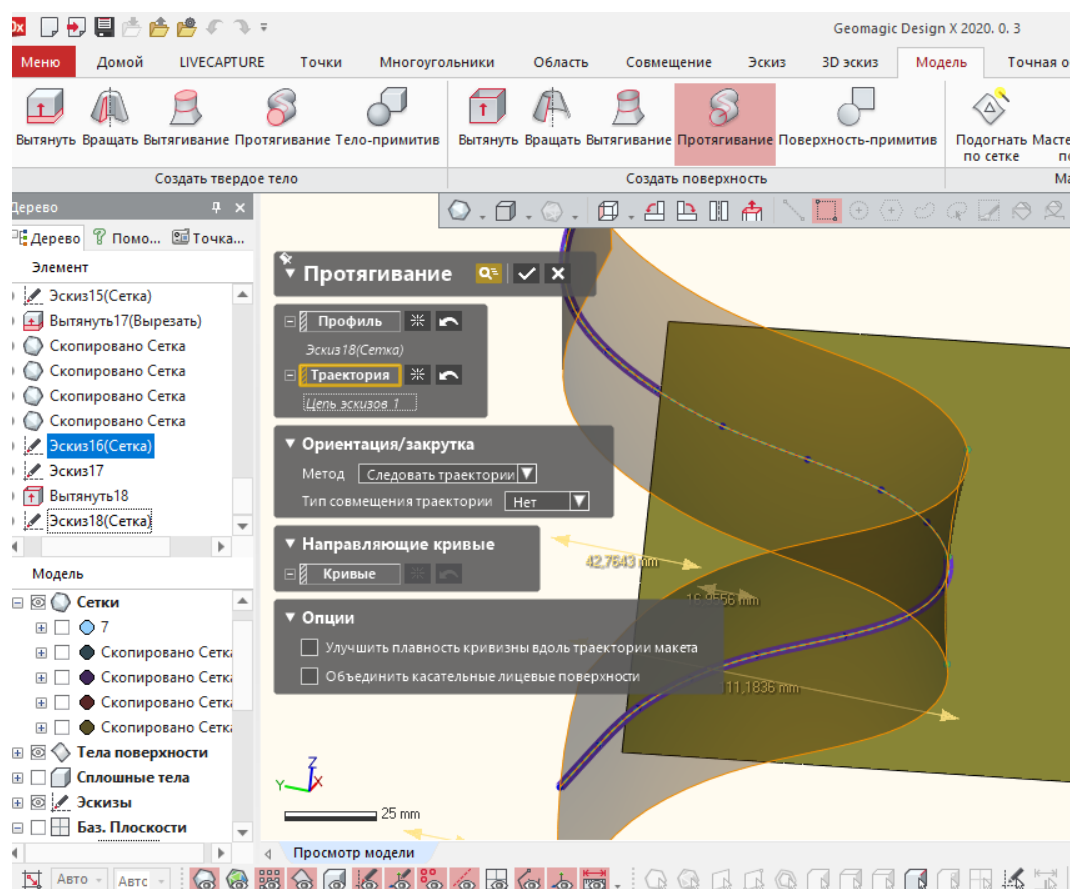


Рис. 135. Протягивание

Строим дугу, *Модель / Протягивание*, в качестве эскиза выбираем *Профиль*, в качестве траектории – *Сплайн*. Далее повторяем действия для сетки, находящейся с противоположной стороны.

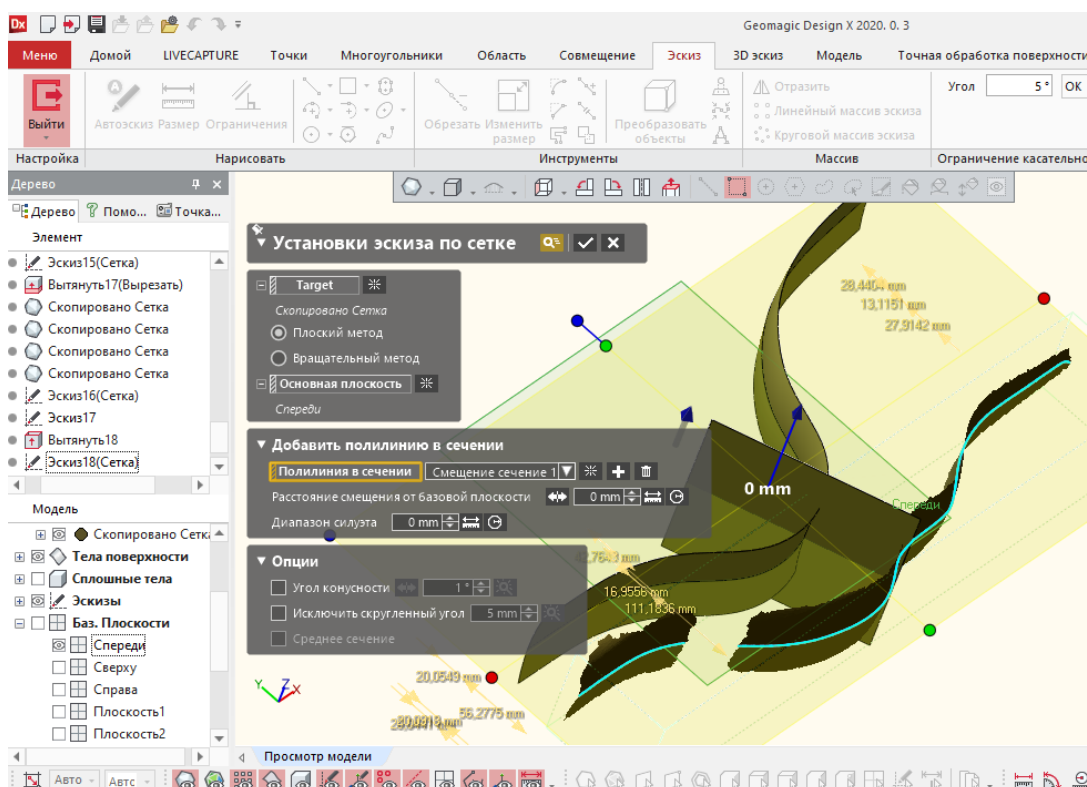


Рис. 136. Установка эскиза по сетке

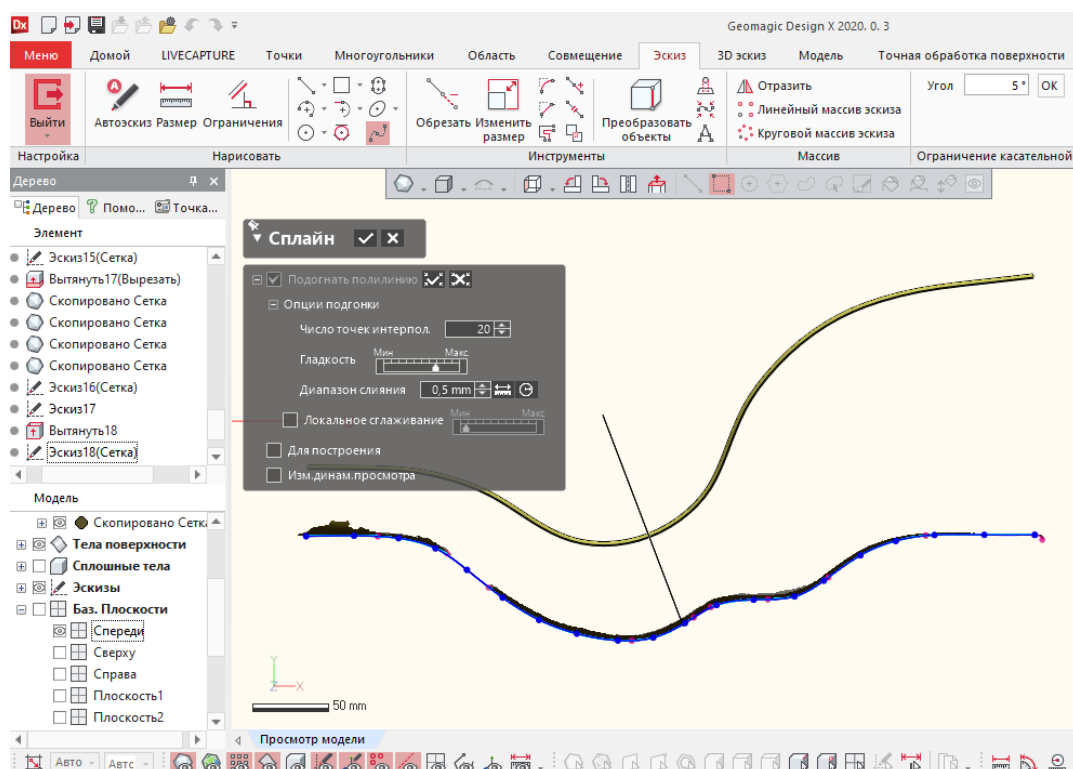


Рис. 137. Сплайн

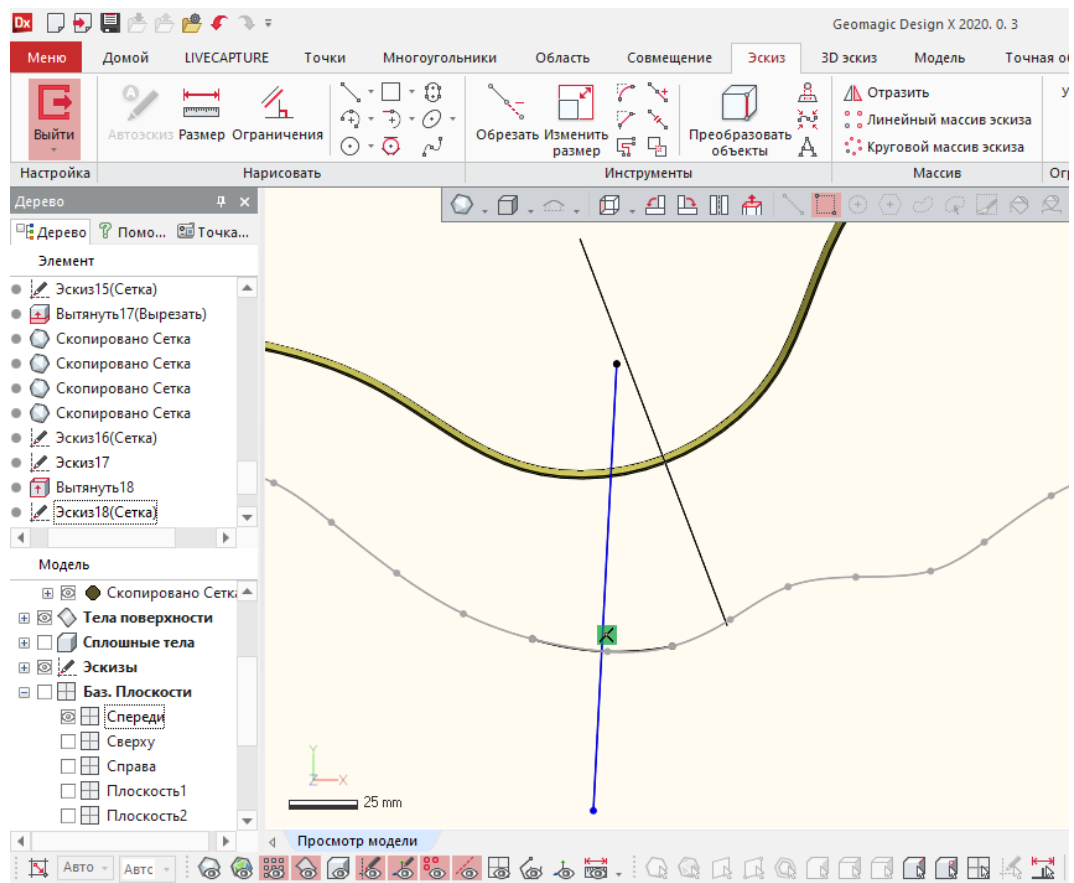


Рис. 138. Создаем второй сплайн

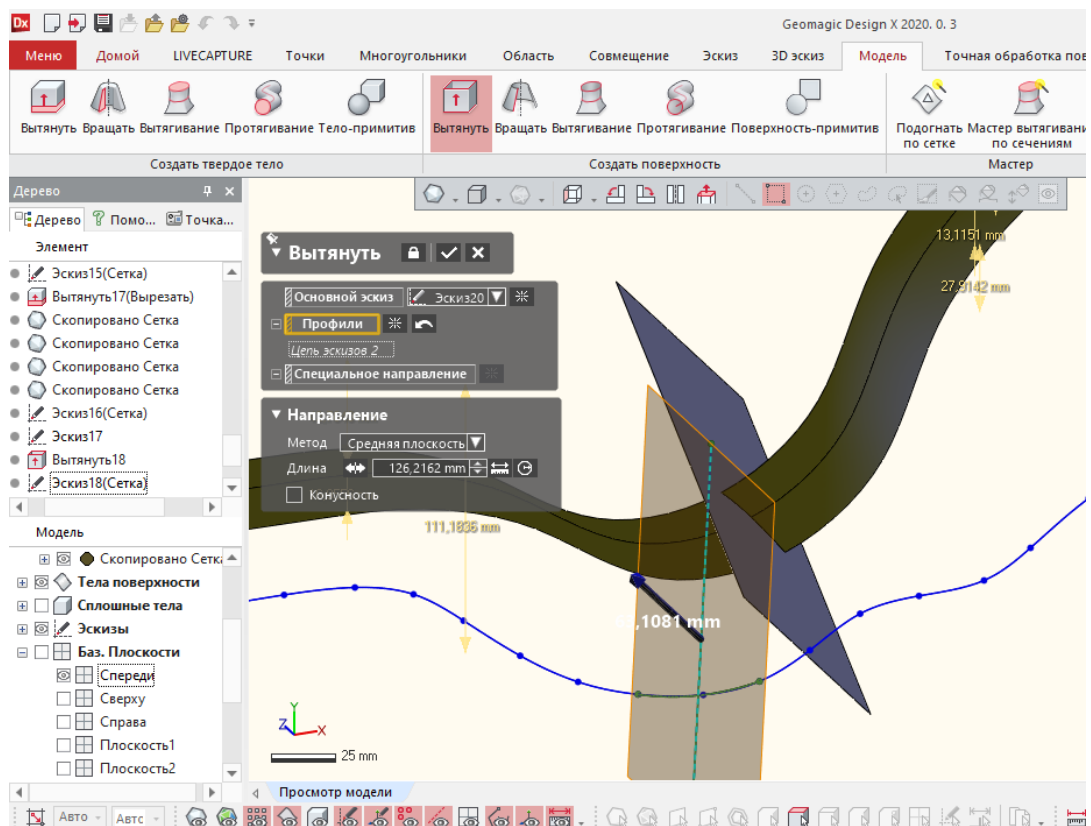


Рис. 139. Вытягиваем вторую плоскость

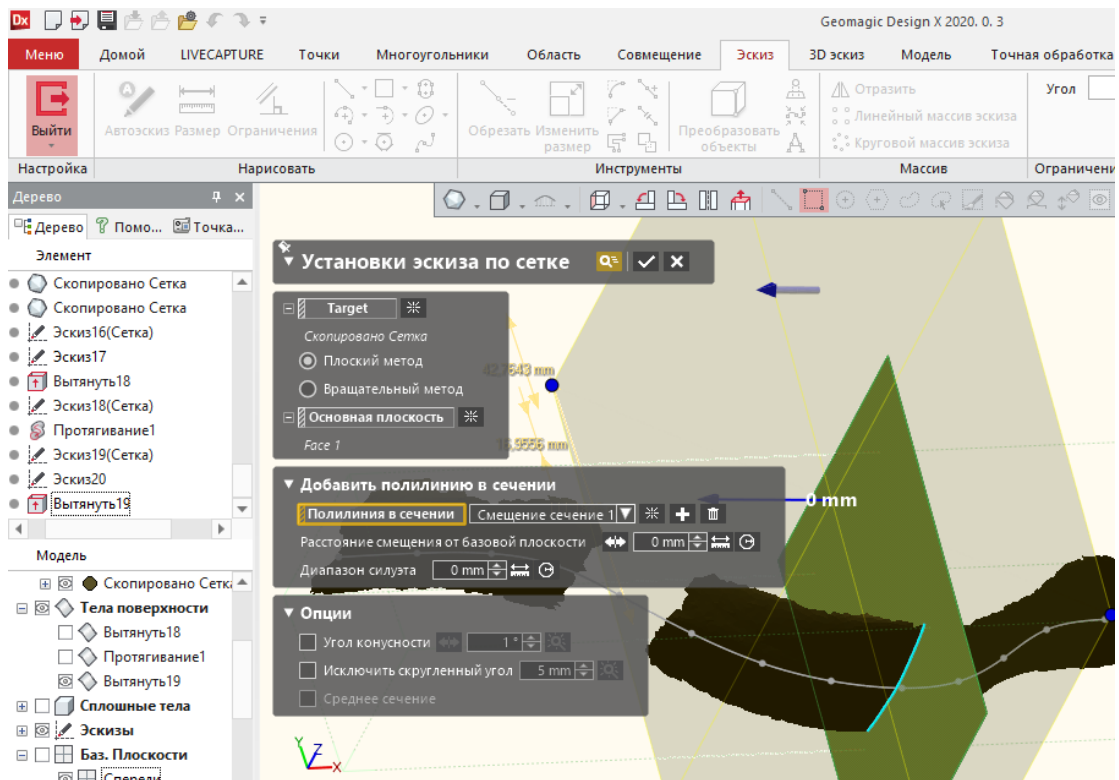


Рис. 140. Устанавливаем эскиз по сетке

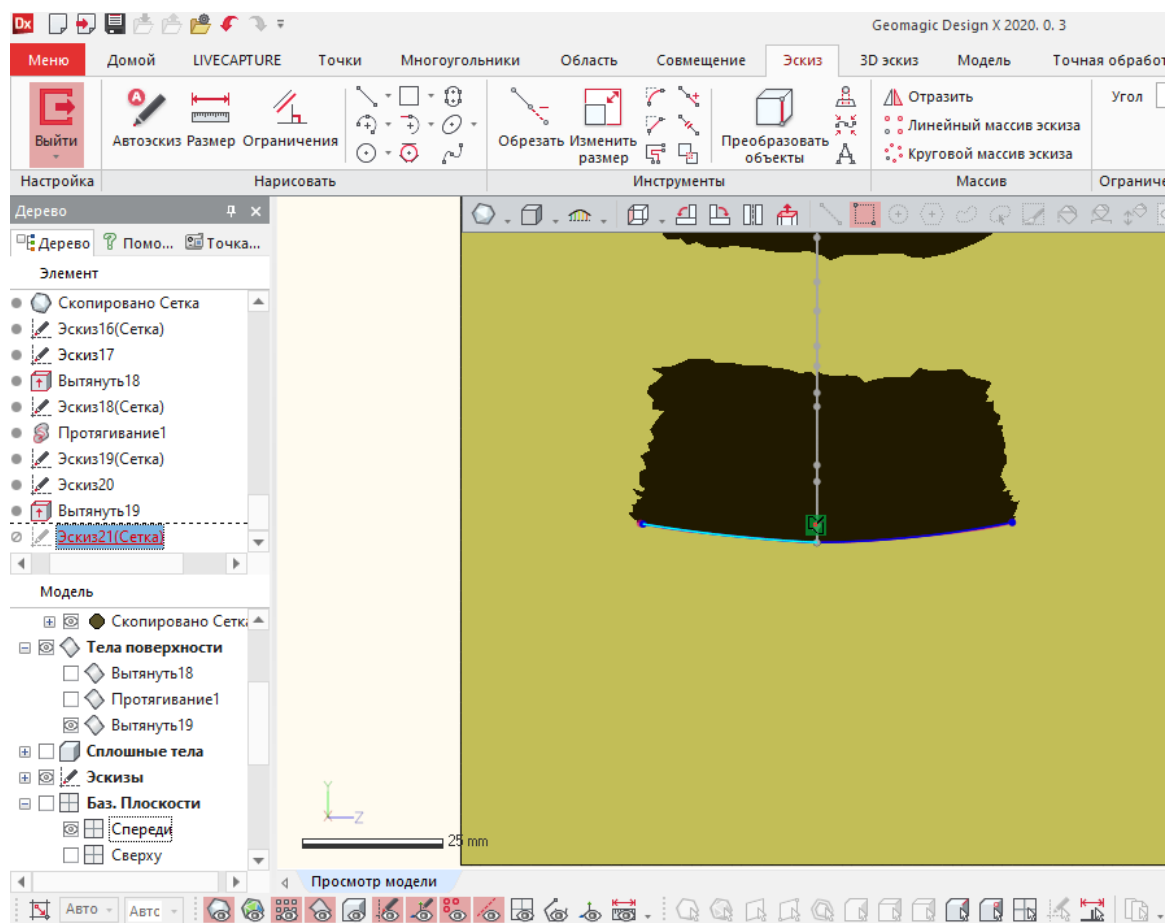


Рис. 141. Создаём вторую дугу

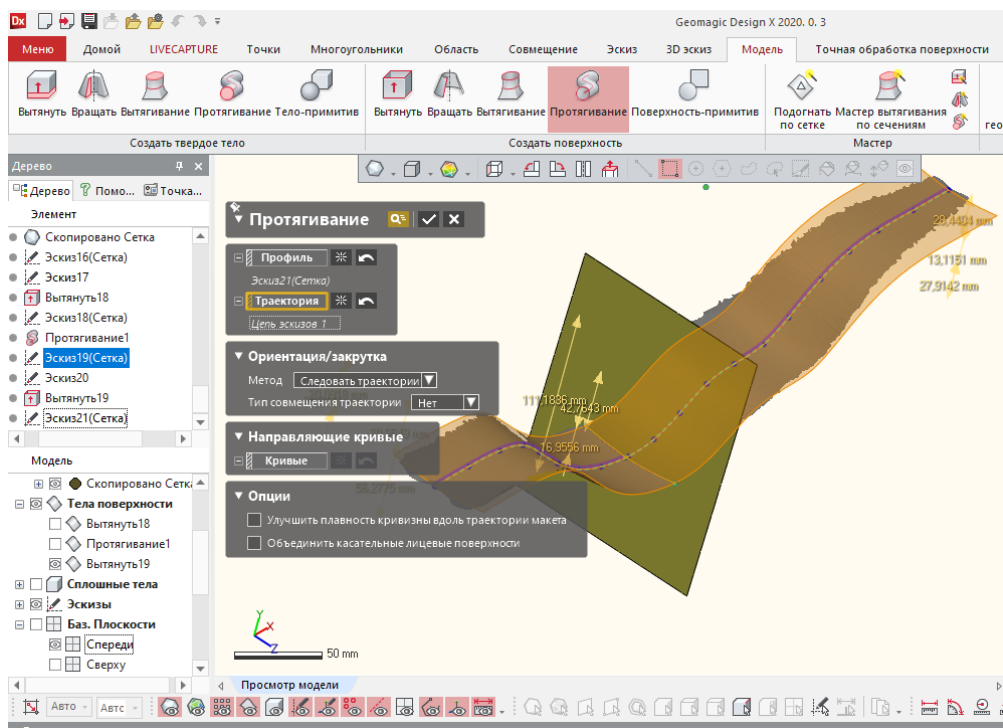


Рис. 142. Формируем поверхность

Для этого выбираем плоскость *Спереди / Эскиз по сетке* и строим сплайн. Снова выбираем *Плоскость спереди / Эскиз*, выбираем отрезок, строим дугу и прямую, вытягиваем, поставив галочку *Средняя плоскость*, выбираем полученную поверхность *Эскиз по сетке* и в качестве тела выбираем сетку, строим дугу, «протягиваем». Во вкладке *Модель / Тело / Лицевая поверхность / Удалить тело* удаляем дополнительные поверхности.

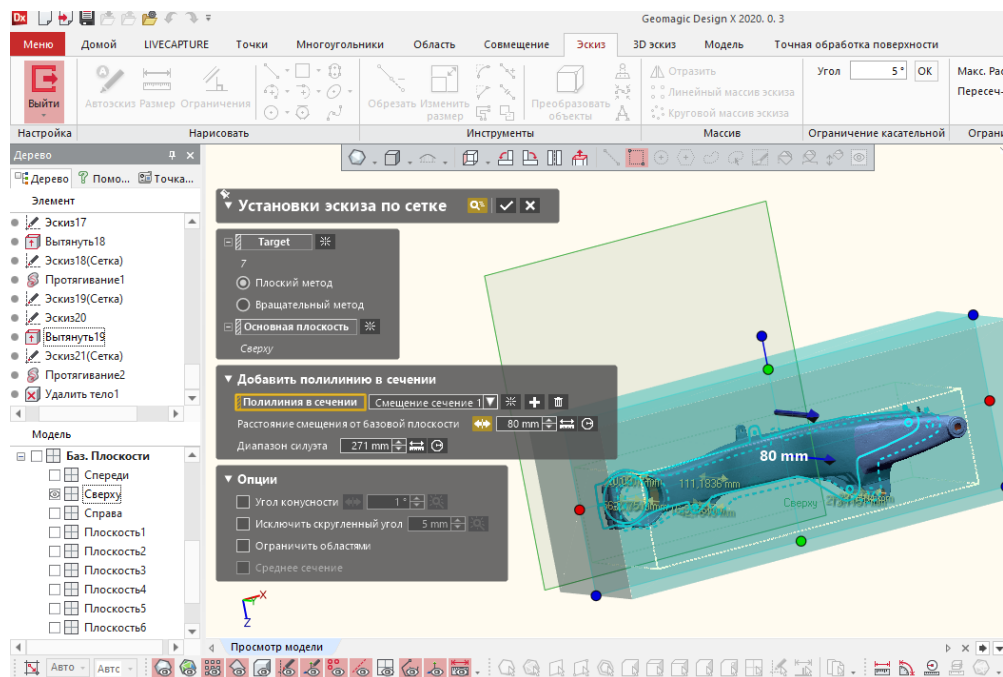


Рис. 143. Устанавливаем эскиз по сетке

Включаем видимость модели, отключаем сетки. Выбираем *Плоскость сверху / Эскиз по сетке* и строим множество секущих плоскостей: первая – с координатой 0, вторая – 50, третья – 85, четвёртая – 70. Таким образом, мы практически полностью исключим попадание ненужных элементов. Однако в нашем случае достаточно поставить просто диапазон силуэта на 275 мм. Слайсами создаём эскиз верхней и нижней граней. Включаем *Видимость твердых тел*, преобразовываем объекты (окружности), дважды щелкаем на *Цилиндр* ЛКМ, зажав *SHIFT* выбираем *Слайн* и выставляем ограничение *Касательность* и подгоняем сплайн до соединения. Для того, чтобы у нас не строилась поверхность цилиндра, нажимаем на него ПКМ и назначаем его «номинальным». Вытягиваем поверхность методом *Средняя плоскость* на 165 мм.

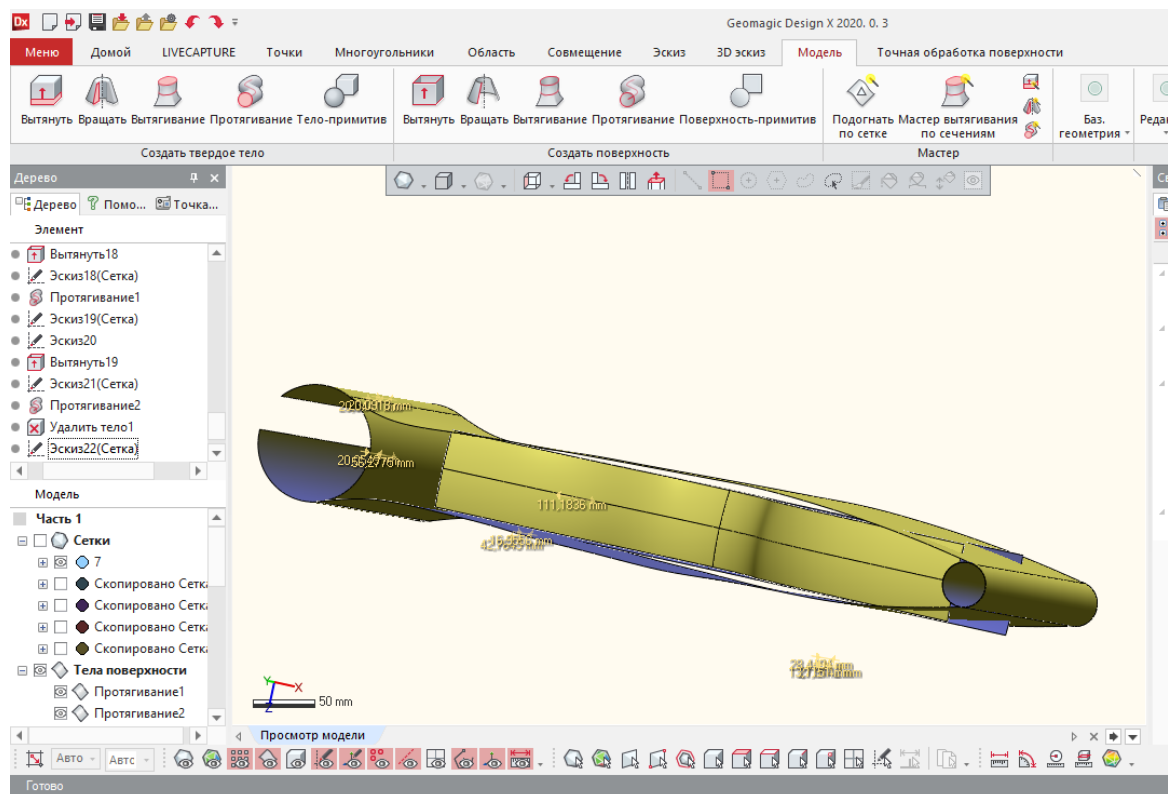


Рис. 144. Поверхности

Инструментами *Редактировать* и *Увеличить поверхность* увеличиваем наши поверхности до пересечения. У нас получилось 4 поверхности, которые будут ограничивать нашу модель, однако не хватает еще двух.

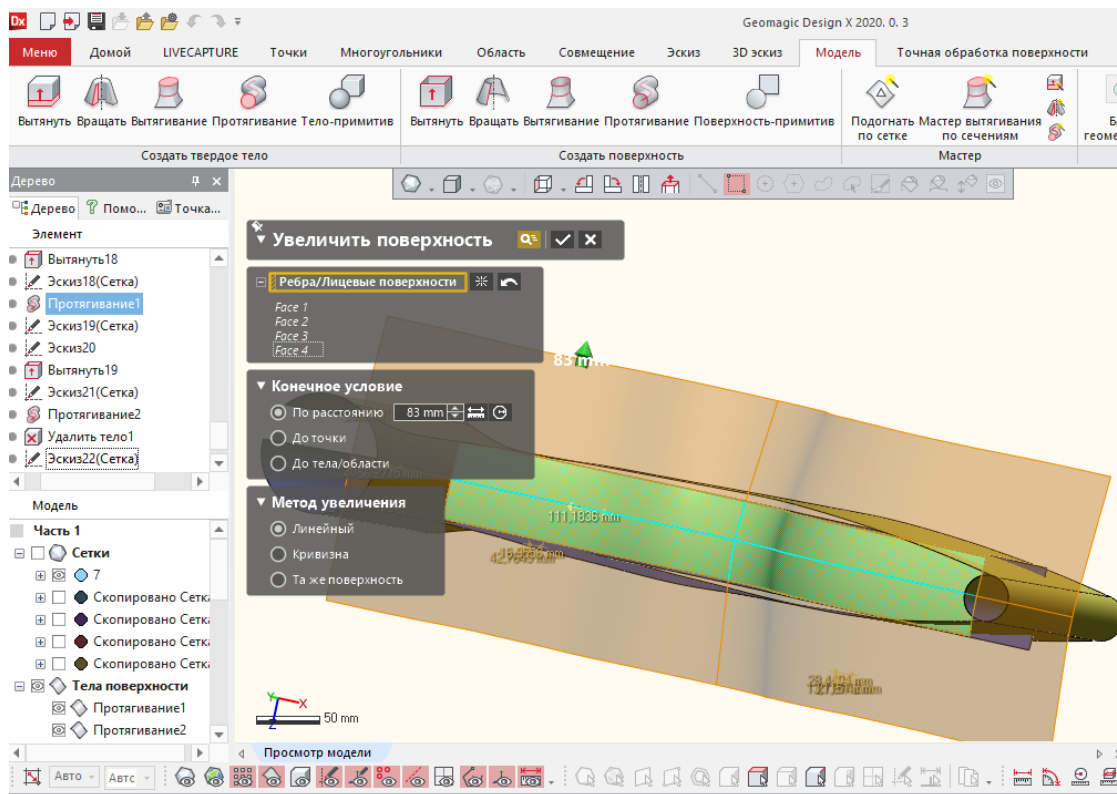


Рис. 145. Замыкаем поверхности, увеличивая их плоскость

Включаем видимость тел, выбираем *Цилиндр / Редактировать / Смещение поверхности*, расстояние смещения 0, повторяем для второго. Увеличиваем поверхности до получения замкнутого объема.

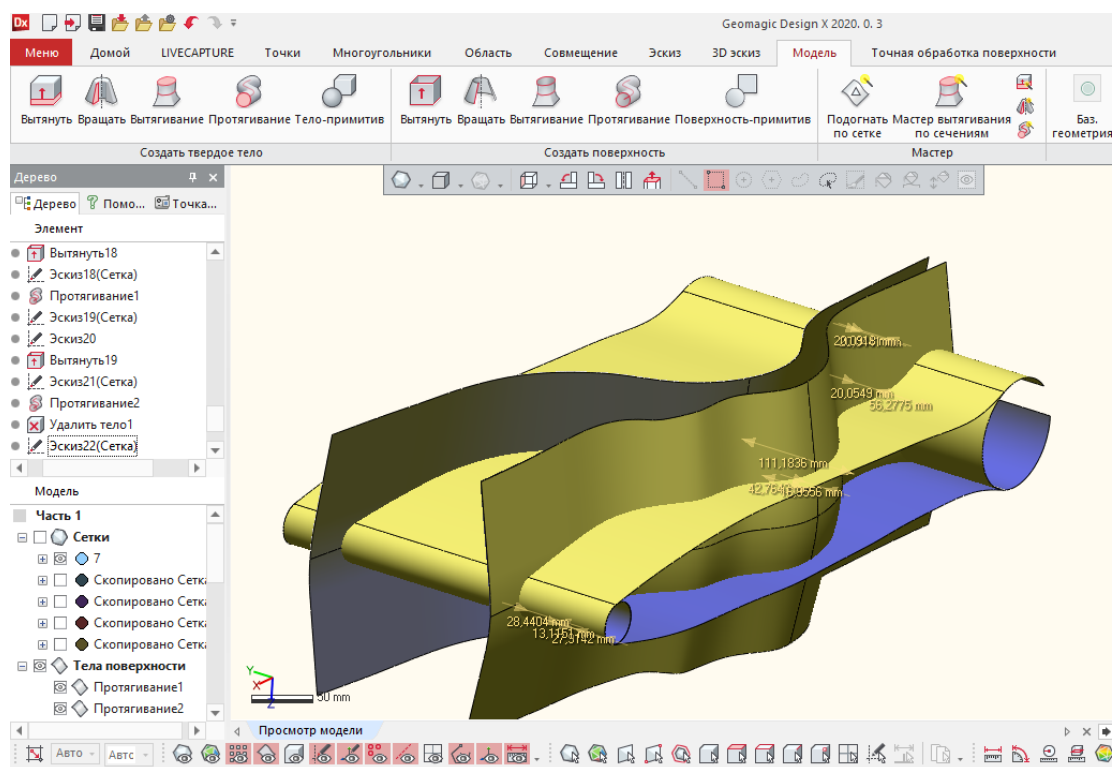


Рис. 146. Пересекающиеся поверхности

Убираем лишние части поверхностей. Для этого открываем вкладку *Редактировать / Усечь поверхность* и выбираем лишние элементы, на следующем шаге выбираем элементы, которые необходимо оставить.

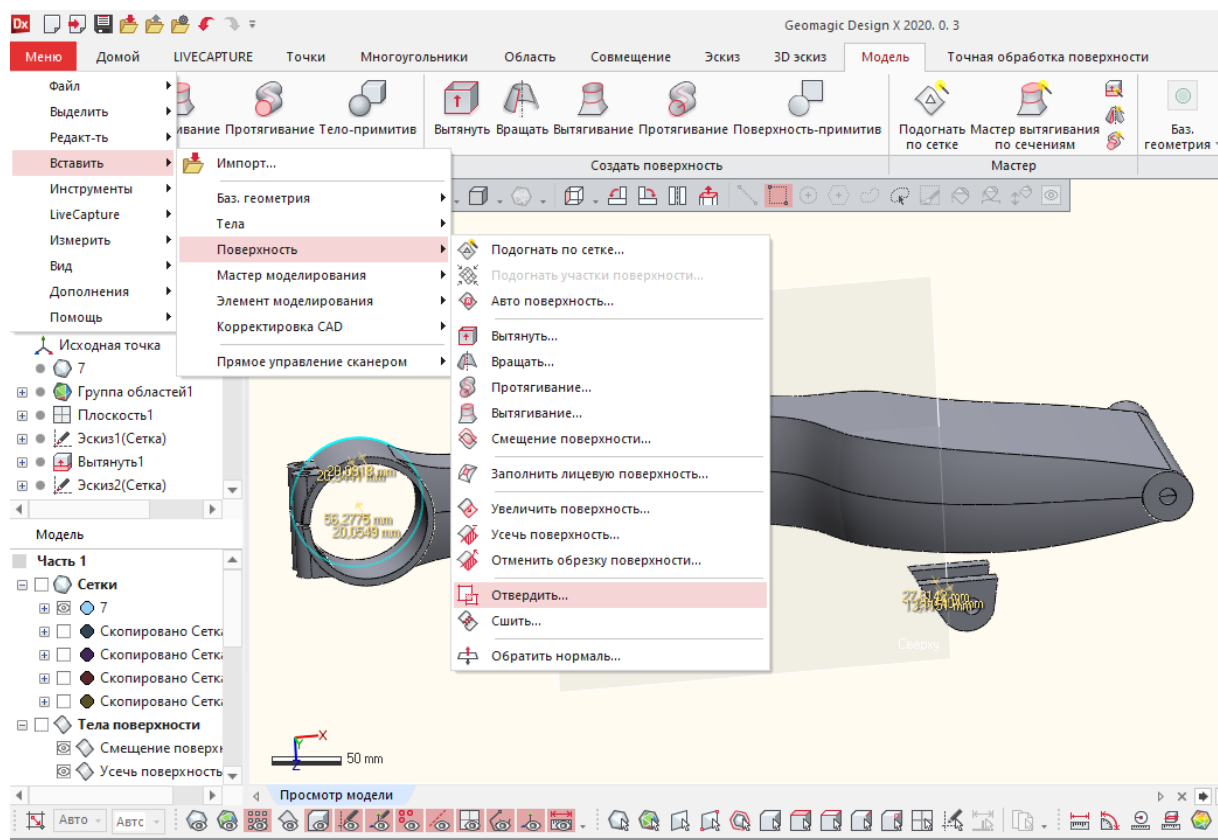


Рис. 147. Преобразуем поверхности в твёрдое тело

Строим твердое тело между поверхностями. Вкладки *Меню / Вставить / Поверхность / Отвердить*, выбираем все поверхности и получаем тело нашего маятника.

Мы получили массу сплошных тел, которые нужно объединить. Для этого во вкладке *Модель*, выбираем *Логические функции* и указываем *Объединить*, выбираем наши тела, таким образом, получаем одно твердое тело маятника.

Построение отверстия и соединения маятника с ушами делаем самостоятельно.

ВОПРОСЫ

1. Для каких целей служит «интерактивное выравнивание»?
2. Почему при построении боковых плоскостей опирались на одну плоскость, построенную в самом начале?
3. Почему первоначально были построены все элементы крепления?
4. Какая команда позволила преобразовать модель, образованную поверхностями, в твердотельную?

ПОЛИГОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ (СЕТКА). РЕМОНТ (КОРРЕКЦИЯ)

Загружаем модель через *Импорт*, переходим во вкладку *Многоугольники*. Первое, что нам надо сделать, – нажать на вкладку *Мастер лечения* и *Применить*.

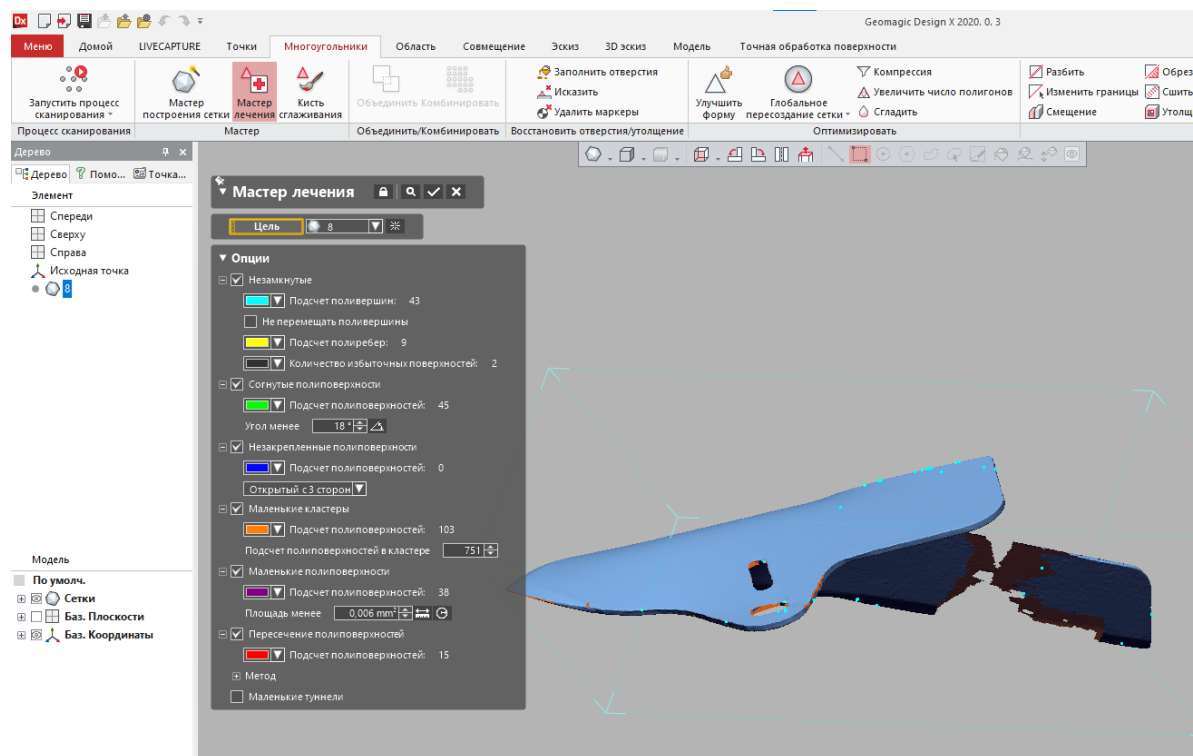


Рис. 148. Мастер лечения

Выбираем функцию *Выбор кисти*.

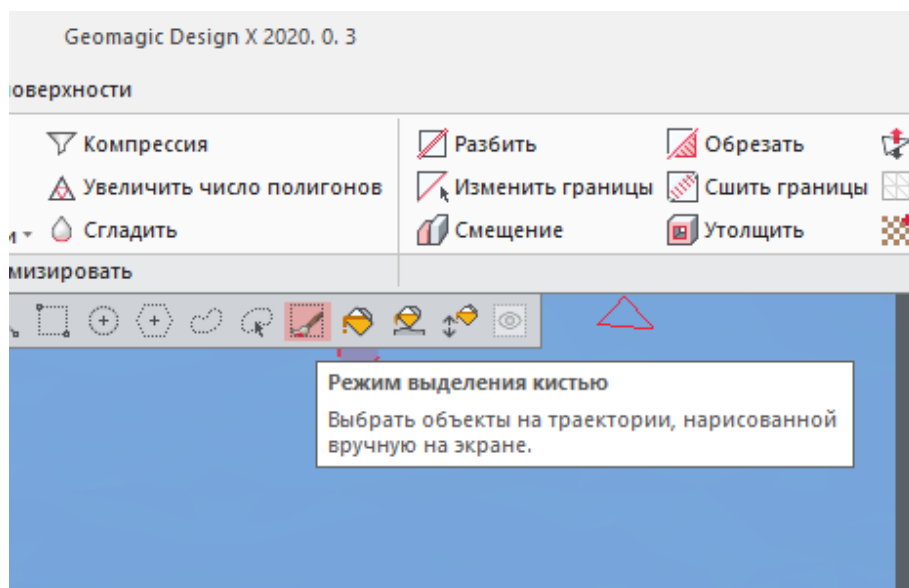


Рис. 149. Кисть

Выделяем, зажав левую кнопку мыши и клавишу *SHIFT*, и добавляем всё остальное. Все выступающие кусочки можно выбрать с зажатым *SHIFT*. Отменить выбор можно с зажатым *CTRL*.

Поворачиваем модель, зажав правую кнопку мыши, выбираем *Край* и, зажав *CTRL*, всё отменяем.

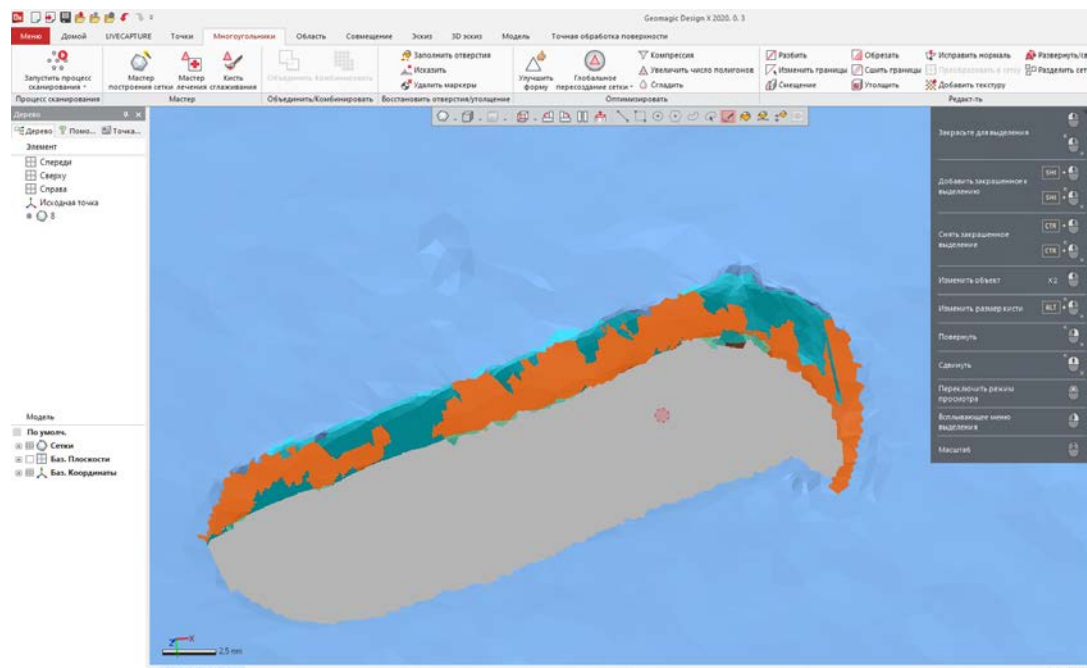


Рис. 150. Получили отверстие

С помощью *Delete* удаляем всё лишнее. Получили отверстие.

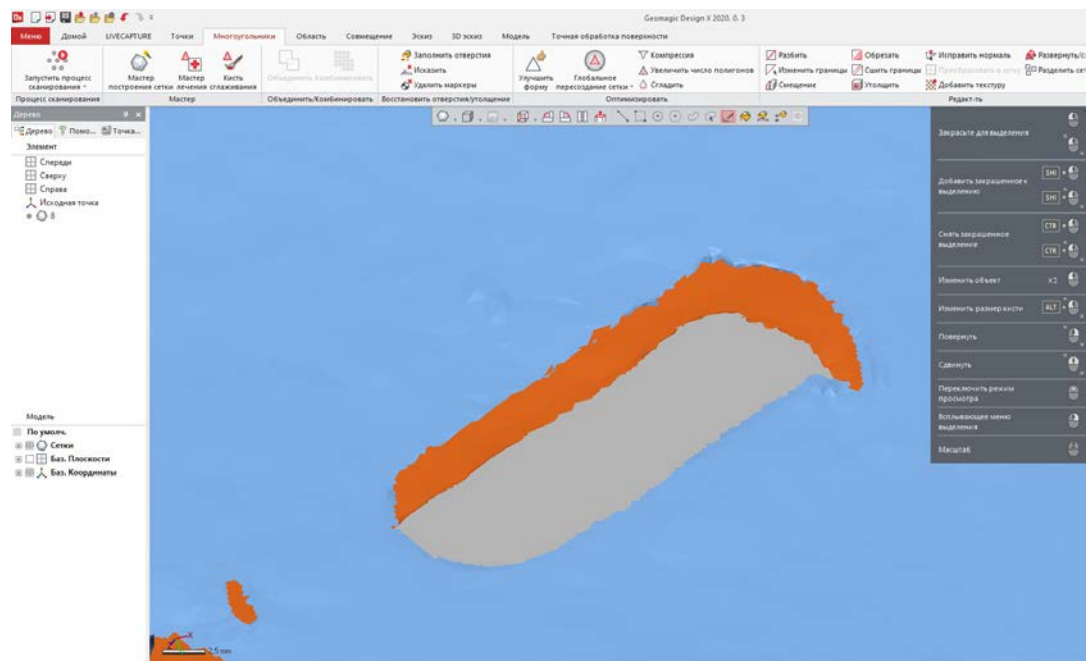


Рис. 151. Получили отверстие

Зажимаем *SHIFT*, выделяем, поворачиваем. Элемент детали показан на рис. 151.

А теперь зажимаем *CTRL* и с этой плоскости все треугольники убираем.

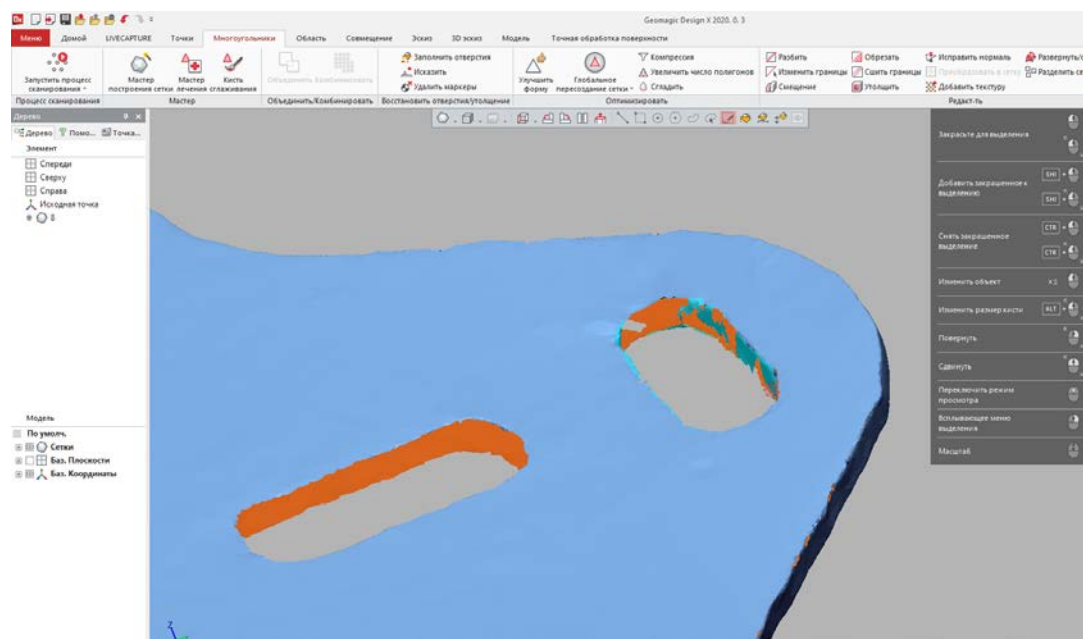


Рис. 152. Два отверстия

Получили два отверстия.

Удаляем все необходимые куски. Пытаемся сделать максимально ровный край. Если что-то удалили лишнее, комбинацией *CTRL* + *Z* возвращаем назад. Получили два отверстия, похожие на овальные отверстия.

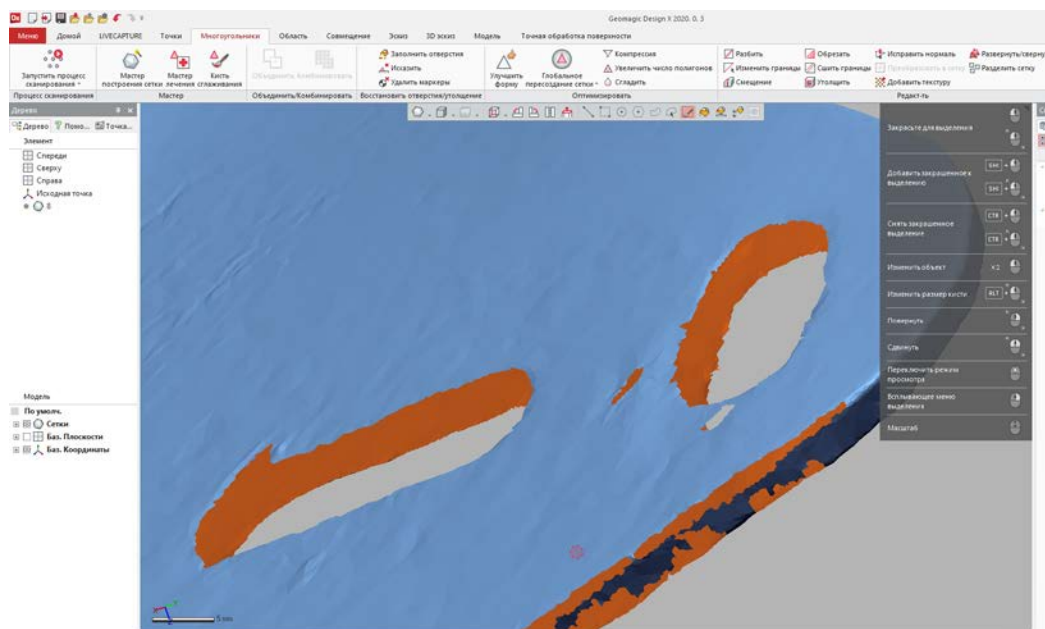


Рис. 153. Вкладка *Многоугольники*

Восстановим отверстие, используя утолщение. Рассмотрим здесь разные инструменты. Первое, что нам надо построить, мосты. Нажимаем *Добавить мост*, с зажатым *CTRL* правой кнопкой мыши перемещаем модель. Выбираете, наведя на край, выделось ребро, зажали левую кнопку мыши и потянули, но

прежде, чем построить, указали *Плоский метод*. Зажали, протянули, построилось, это предпросмотр, нужно нажать *Принять*, но мы построим несколько элементов. Вот тут у нас чётко прослеживается грань, соответственно, со стороны грани выбираем поверхность, протягиваем максимально к краю, с этой стороны выбираем ребро и тянем, это две разные плоскости.

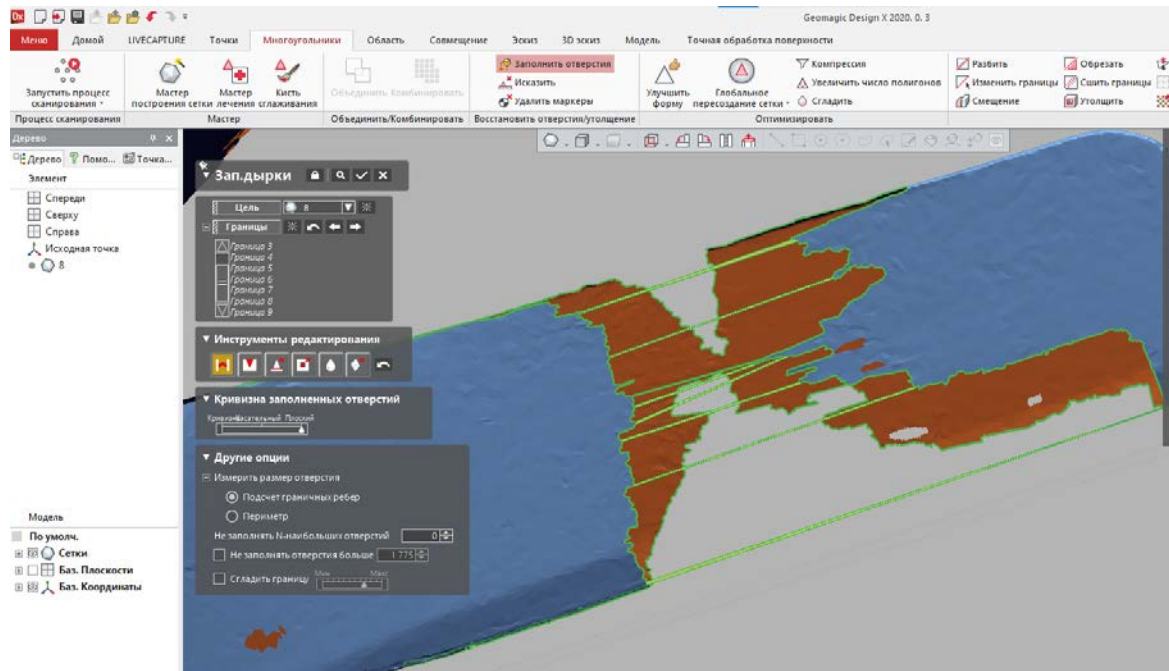


Рис. 154. Заполнение дыр

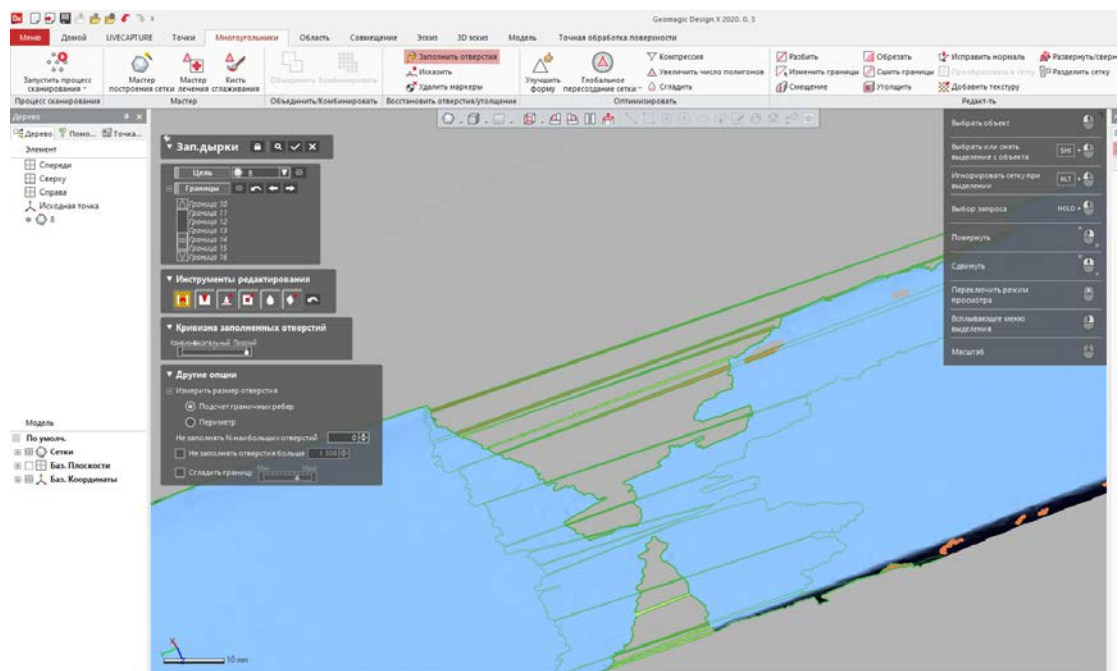


Рис. 155. Инструменты заполнения Мост

Дальше то же самое: протягиваем, нажимаем *Принять*. Частично заполнилось. Ещё раз нажмём *Заполнить отверстия*, ещё раз *Мост*, протягиваем, принимаем.

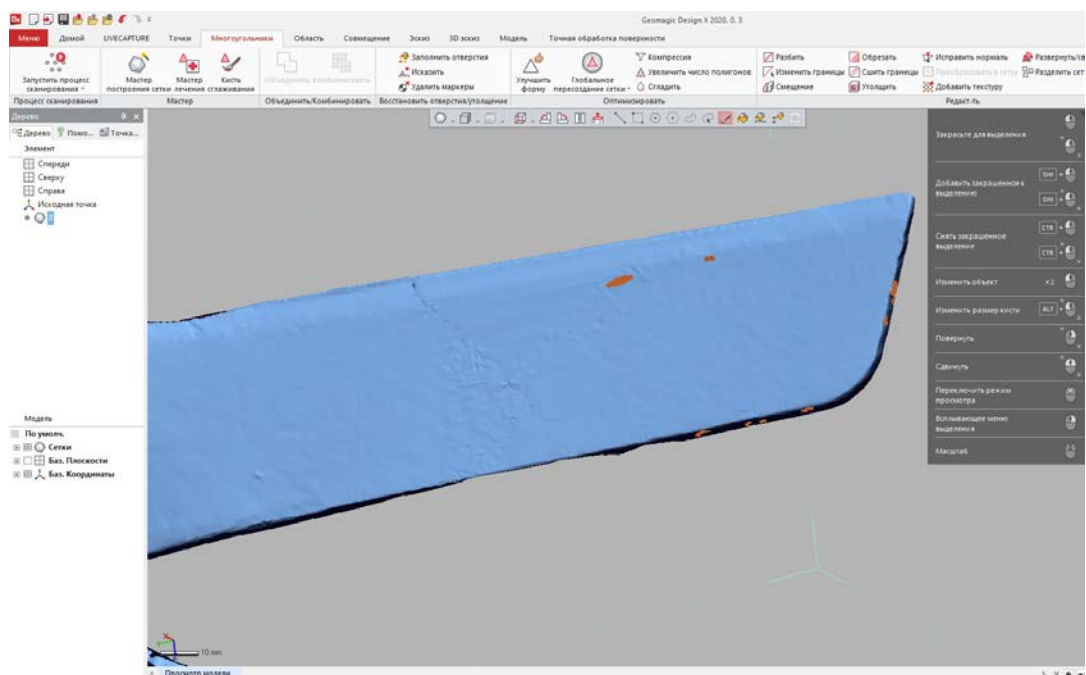


Рис. 156. Заполняем оставшиеся отверстия

Выбираем воронку. Выбираем любую грань, точнее, точку, нажимаем левую кнопку мыши, отпускаем, переводим в другое место, выбираем ещё одну точку. Нам показывают предварительный просмотр, заполняем.

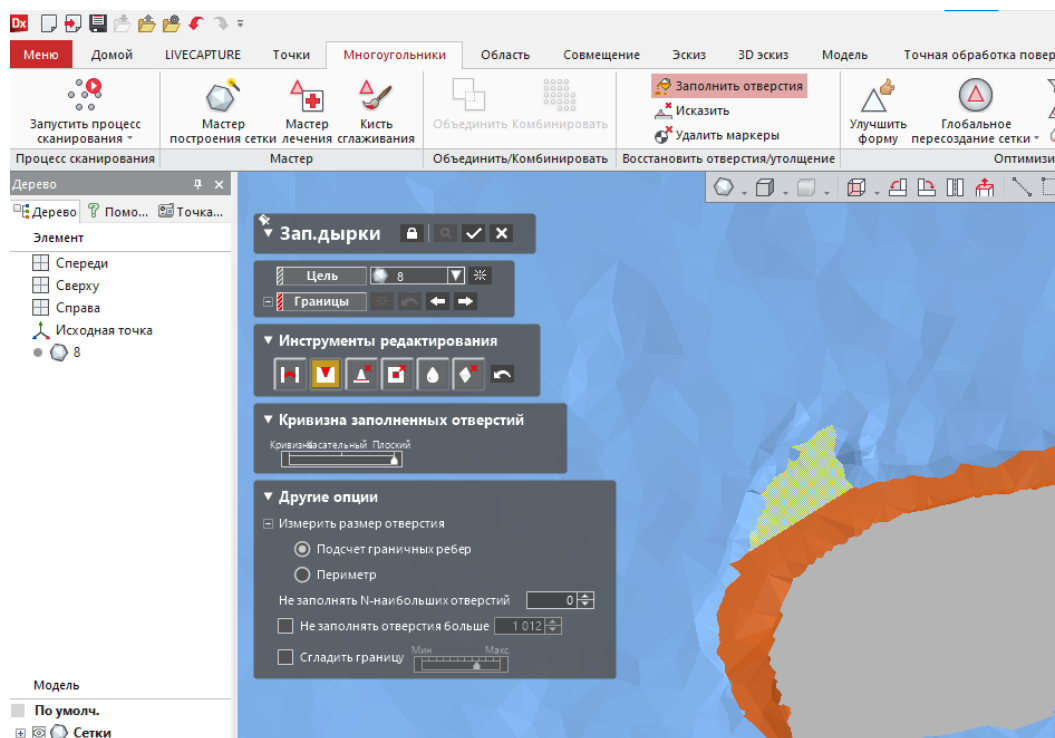


Рис. 157. Заполняем отверстие инструментом *Воронка*

Можно приблизить и так же отредактировать. Дальше нажали *Принять*. Во вкладке *Редактировать* выбираем *Изменить границы*. Можно было заполнить отверстие функцией *Сгладить границу*.

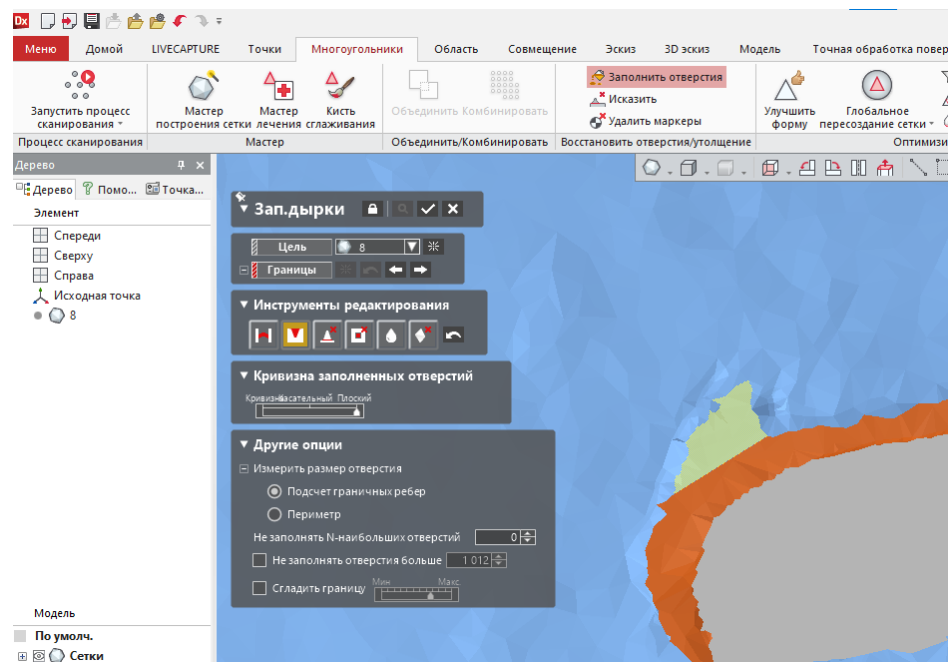


Рис. 158. Заполняем отверстие

В другом отверстии необходимо несколько раз *Сгладить границы*, и грани отверстия станут более гладкими.

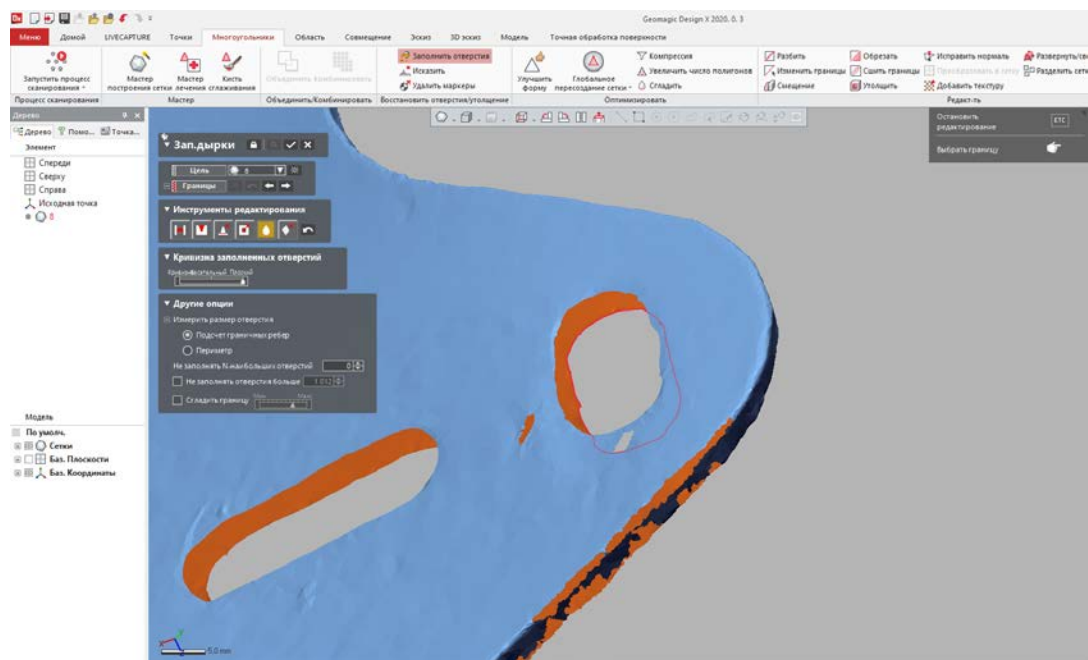


Рис. 159. Сглаживаем границы

Заполнить, метод *Плоский*, проводим линию, теперь нужны мосты, опять *Плоский*, левая кнопка мыши, выбрали, зажали, протянули и так далее. Строим столько, сколько необходимо для построений, на втором отверстии – всё тоже самое, нажали *Принять*.

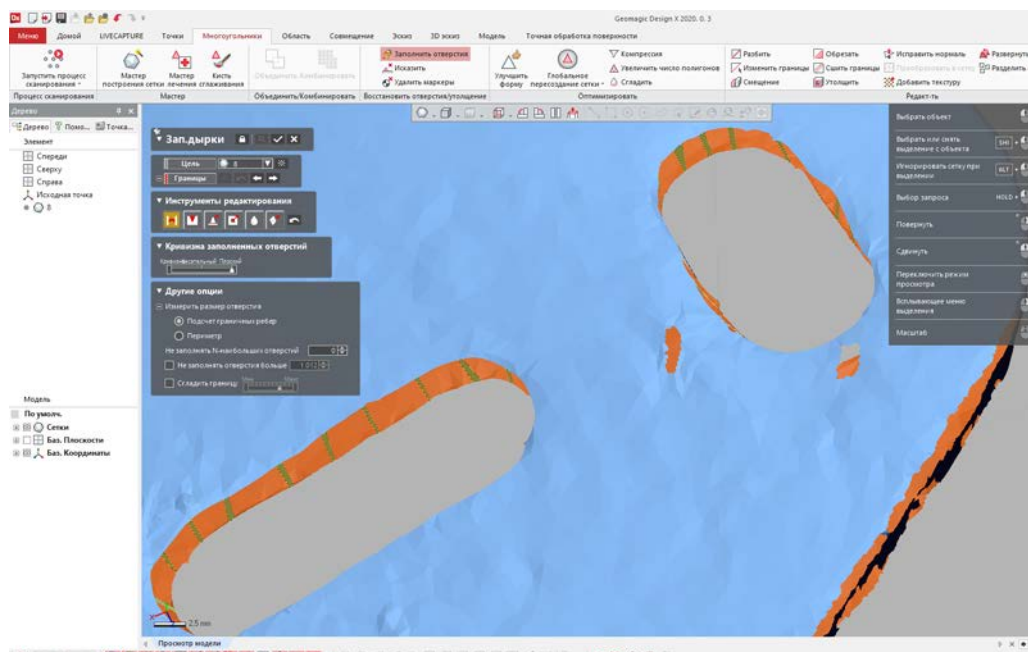


Рис. 160. Соединяем мостами

Заполнить отверстия можно и по-другому – это можно сделать сразу, переключаясь в нужный режим, ничего не выбирая, нажимаем *Касательный* или метод *Кривизна* и начинаем выбирать (сегменты), нажимая левой кнопкой мыши. Выбрали эти отверстия.

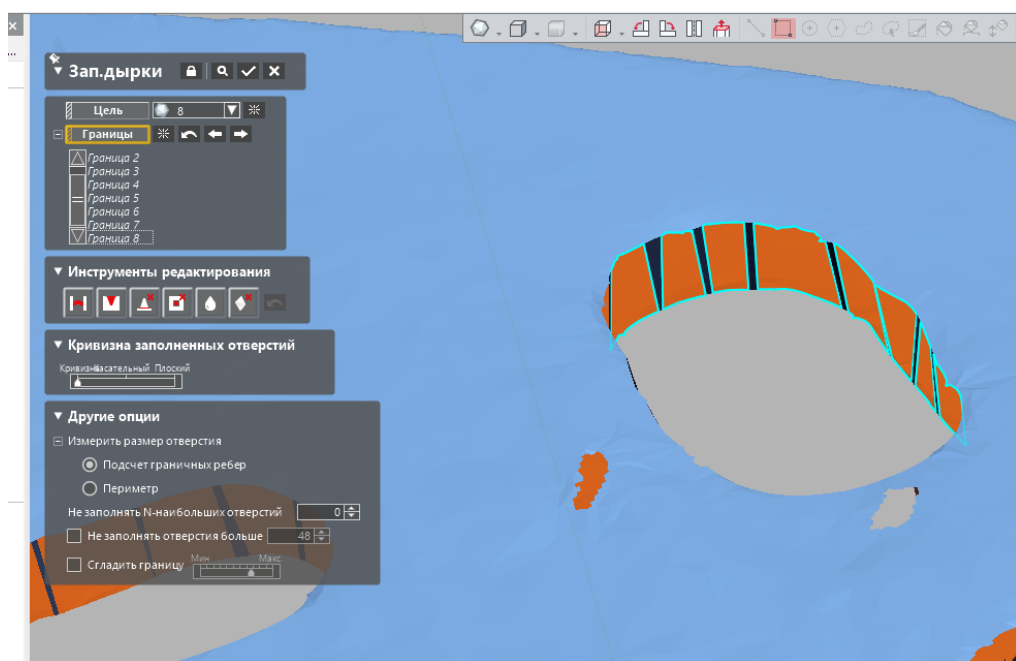


Рис. 161. Заполнение отверстие методом кривизны

Чтобы принять, нажимаем *Enter*. Получились отверстия, подходящие для моделирования.

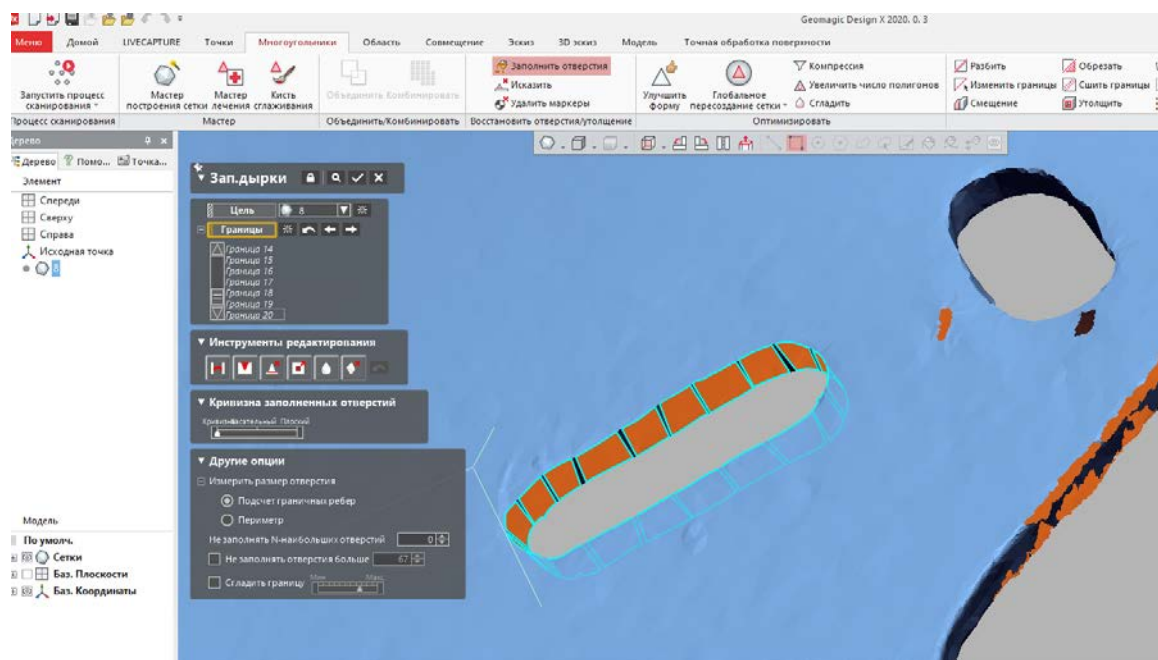


Рис. 162. Подготовка отверстия к заполнению

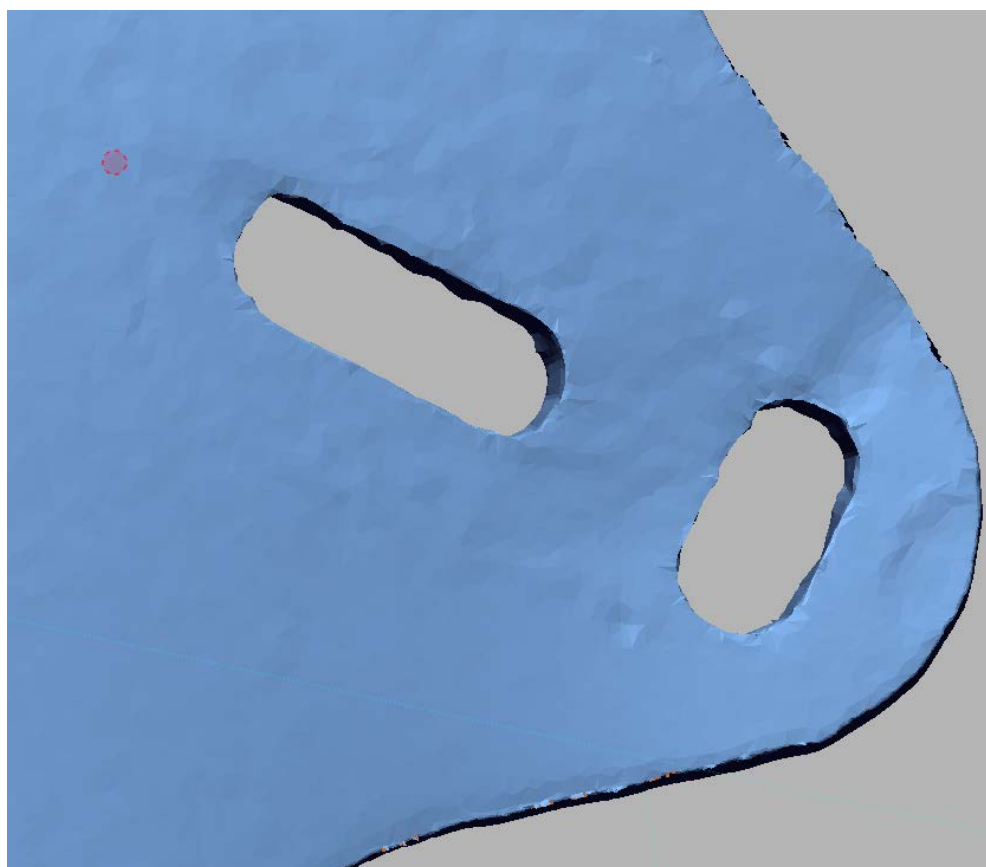


Рис. 163. Заполненные отверстия

Заполняем отверстия с помощью *Плоский метод* и функции *Заполнить воронку*, и выбираем *Плоские участки*. Нажимаем *Применить / Заполнить отверстия*, и с помощью метода *Касательные* заполняем (выбираем) остальное. Нажимаем *Применить*.

После того, как всё заполнили переходим к большому отверстию. *Заполнить отверстия / Плоский мост*, выбрали, протянули, приняли.

Заполнить отверстия, касательный, выбираем *Отверстие*. Остальное можно залить касательным методом или *Заполнить отверстия / Плоский / Воронка*, нажимаем на *Ребро / Esc / Касательный / Выбираем отверстие*. Если отверстий много, вы их не видите, но они есть. Можно нажать на стрелочку, и выделение будет перемещаться от отверстия к отверстию, и их таким образом можно будет выбрать. *Принять*.

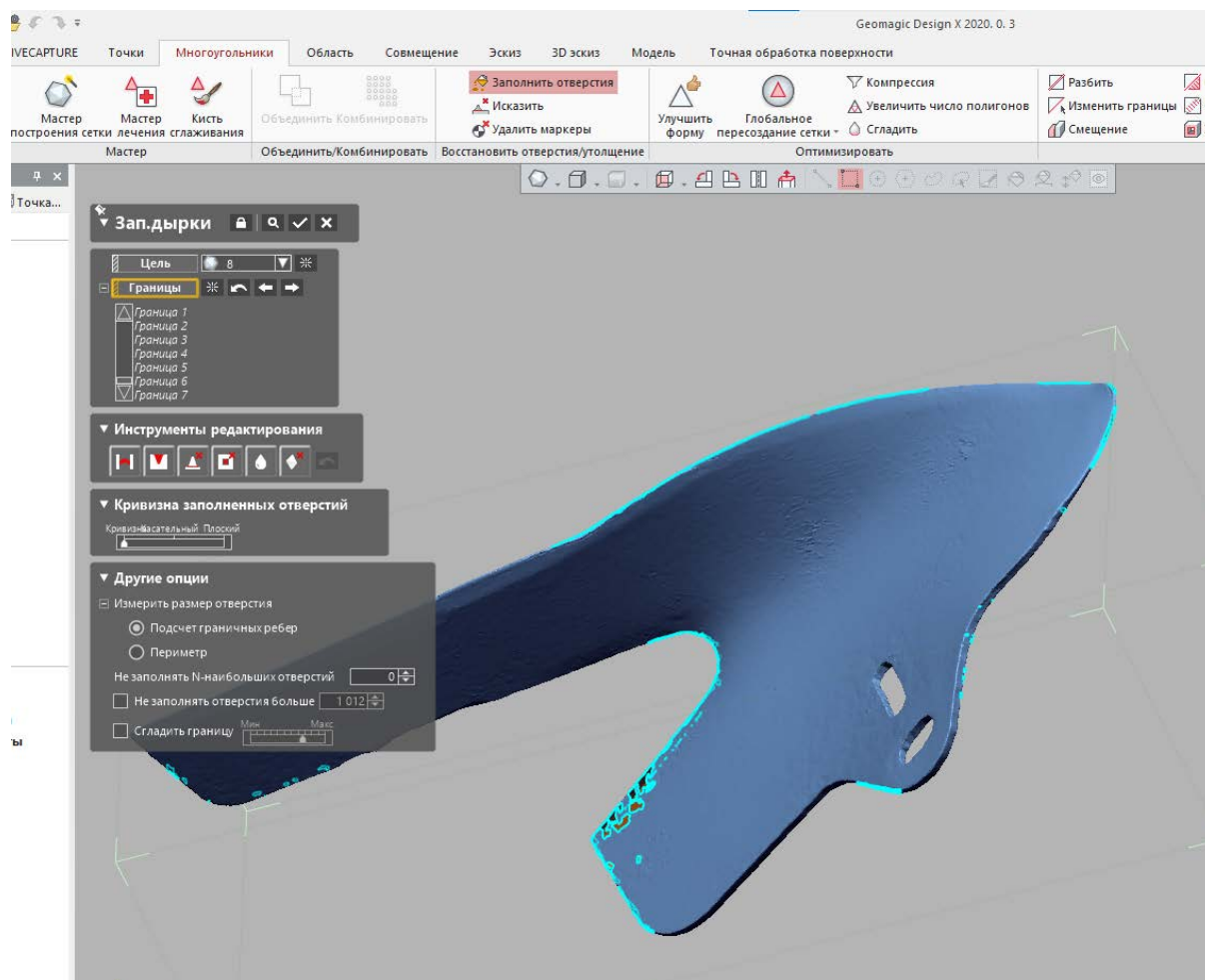


Рис. 164. Заполнение мелких отверстий



Рис. 165. Отредактированная деталь

Мастер лечения маленьких отверстий, ещё выбираем: нажимаем галочку. Если всплывает окно: «Не удалось вылечить некоторые сингулярности, попытаться снова?». Выбираем «Да». Так как какие-то ошибки программа не смогла исправить, то она попробует снова. *Заполнить*, *Касательными* можно и кривизну. Стрелкой выбираем *Отверстия*, нажимаем *Применить* / *Заполнить отверстия*, проверяем, не осталось ли отверстий.

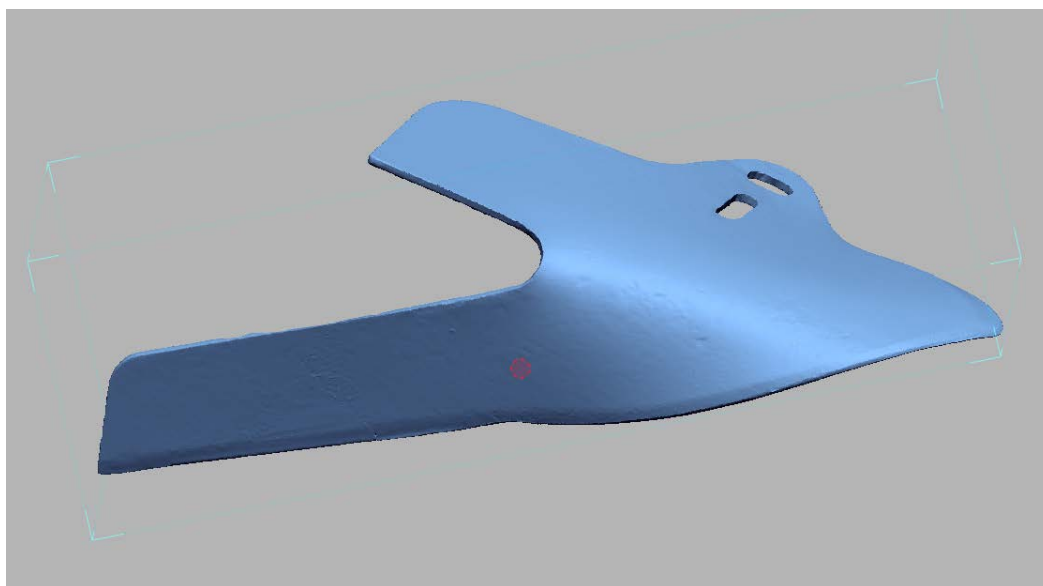


Рис. 166. Запускаем *Мастер лечения* и проверяем, остались ли отверстия

Таким методом лечится вся деталь до тех пор, пока всё не вылечим и не зальём все отверстия.

Во вкладке *Оптимизировать / Глобальное пересоздание сетки* можем *Оптимизировать сетку, сгладить*. Выбираем *Зону*, устанавливаем *Уровень гладкости*, нажимаем *Следующий шаг*. Модель сгладилась.

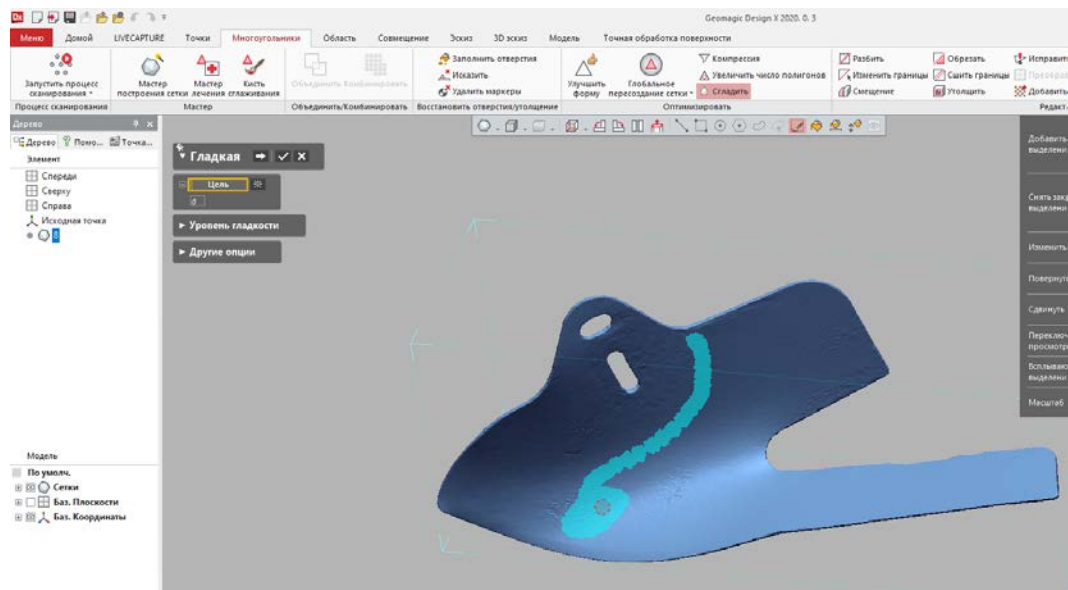


Рис. 167. Сглаживание

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЙКИ СМЕСИТЕЛЯ

На этом уроке будем моделировать стойку (файл 9). Она представляет собой крупную по размеру литую деталь.

Разберем базовые инструменты для построения основной геометрии. Остальное необходимо достроить самостоятельно.

Начинаем, как обычно, с выравнивания. Отключаем видимость базовых плоскостей.

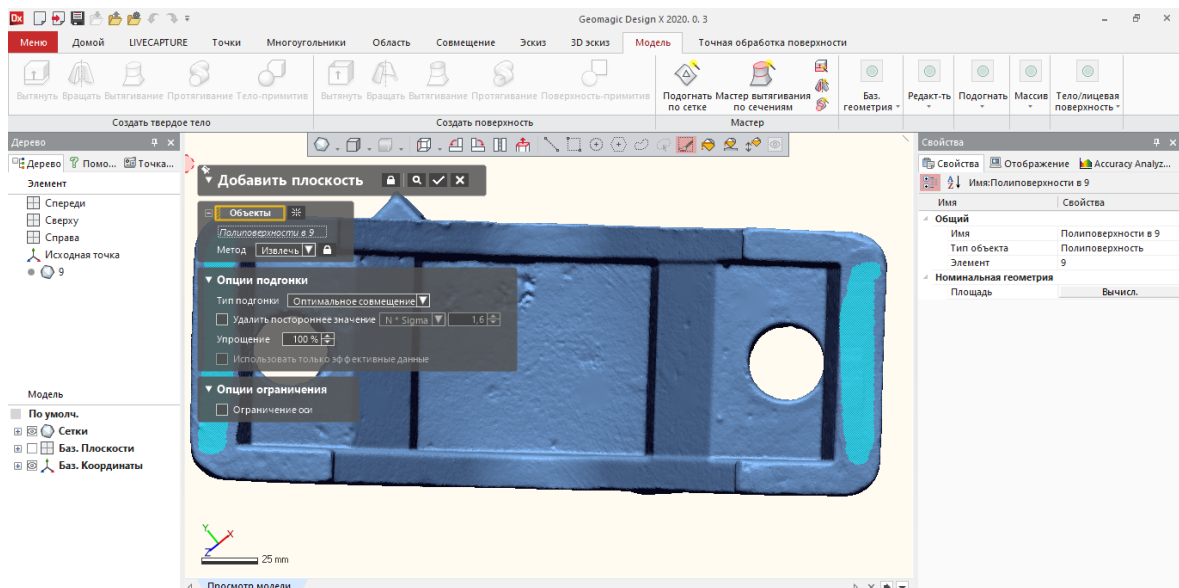


Рис. 168. Добавление плоскости

Строим плоскость 1. Выбираем инструмент *Кисть*, с зажатой клавишей *Alt* уменьшаем либо увеличиваем его и выбираем плоскость, как показано на рис. 168, не заходя на скругления. После выбора переходим во вкладку *Модель / Плоскость / Метод Извлечь*.

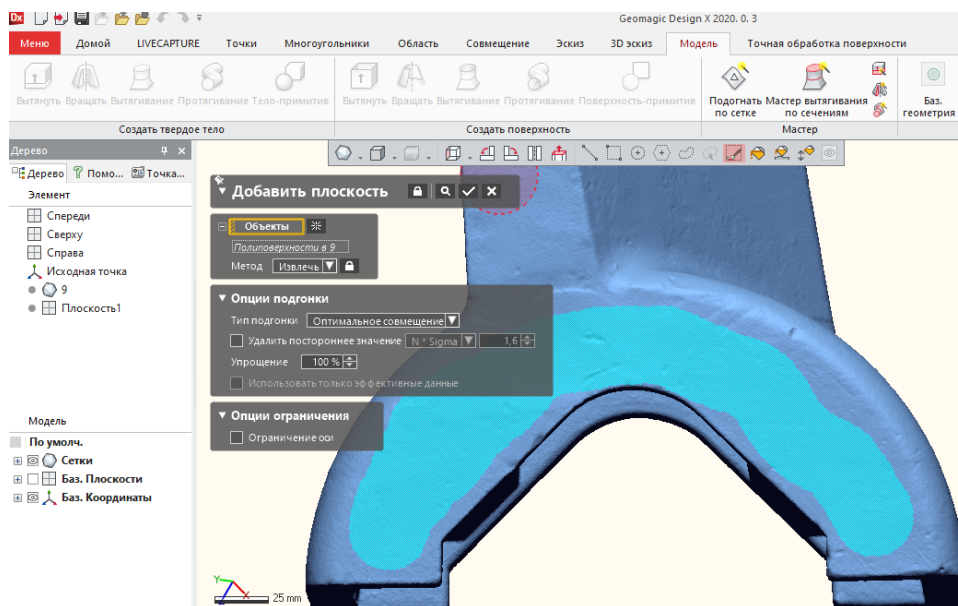


Рис. 169. Создаём боковые плоскости

Далее выбираем плоскость, как показано на рис. 169, повторяем действие *Плоскость / Метод Извлечь*, ту же операцию проделываем с обратной стороны.

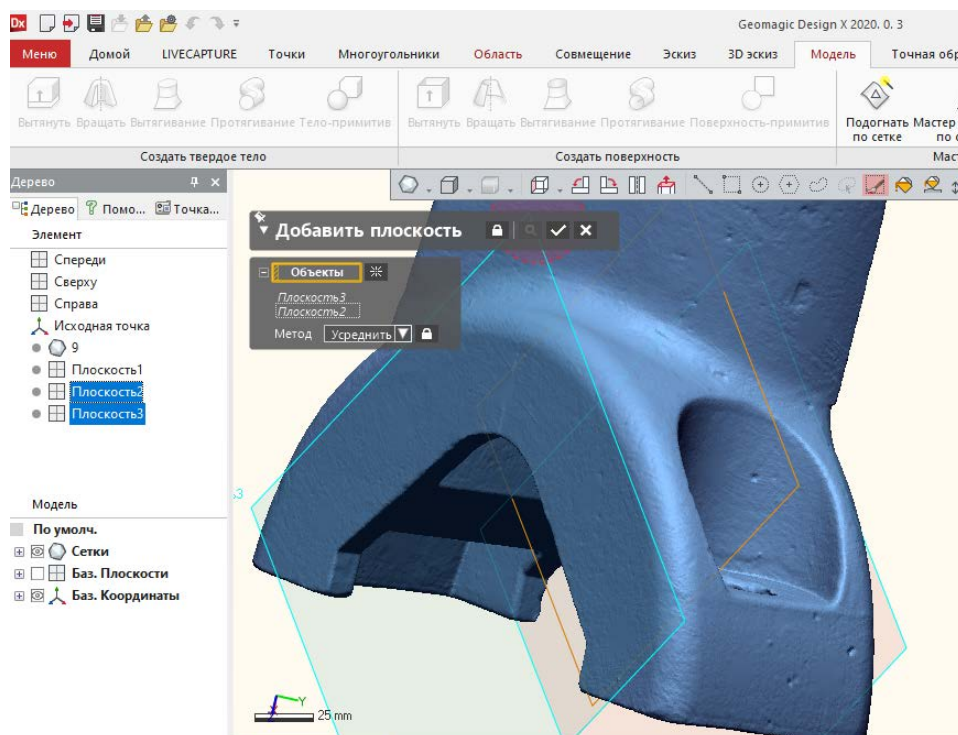


Рис. 170. Создаём среднюю плоскость

Теперь выбираем плоскости 2 и 3 в левом меню, также во вкладке *Модель / Базовая геометрия* выбираем *Плоскость*, и программа сама предлагает метод

Усреднить, в окне предпросмотра отображается средняя плоскость, нажимаем *Принять*.

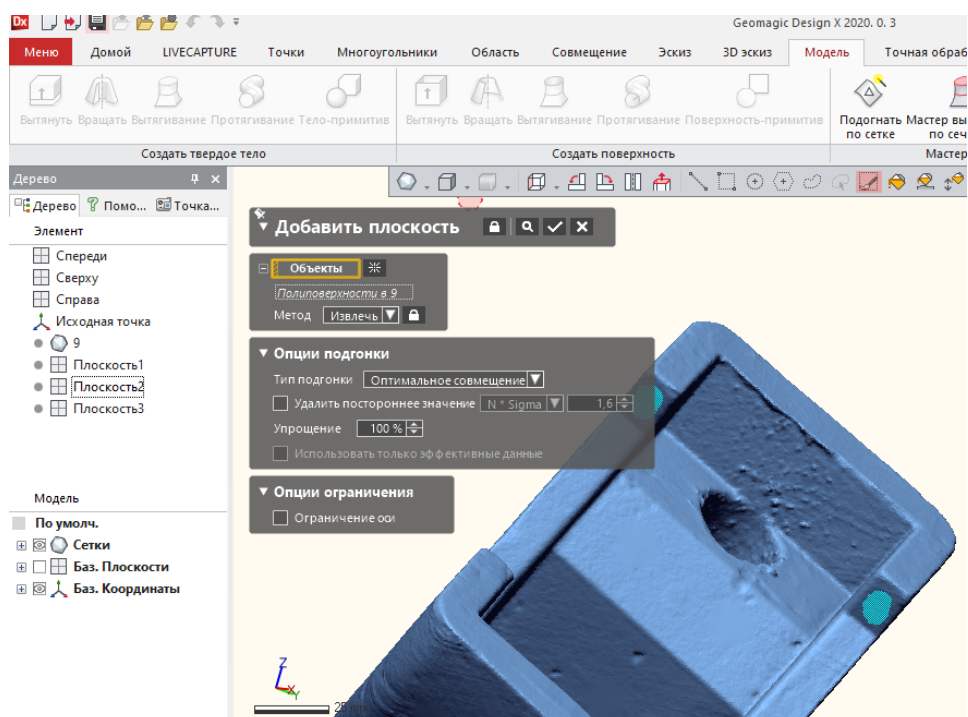


Рис. 171. Извлекаем плоскость

Далее выделяем поверхности, показанные на рис. 171, для перемещения модели используем зажатый *CTRL* и ПКМ, нажимаем *SHIFT*, появляется «+» рядом с курсором мыши и можно продолжать выделение, выбрав два участка, нажимаем *Плоскость / Извлечь*, данную операцию проделываем на противоположной стороне.

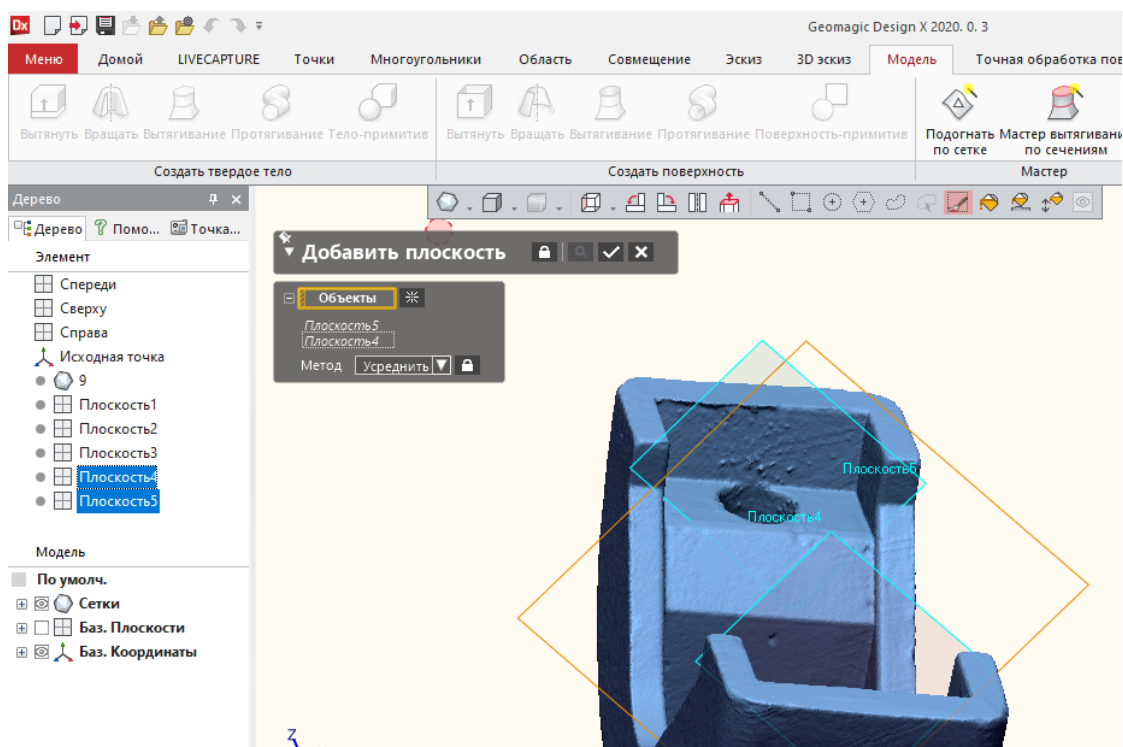


Рис. 172. Создаём среднюю плоскость

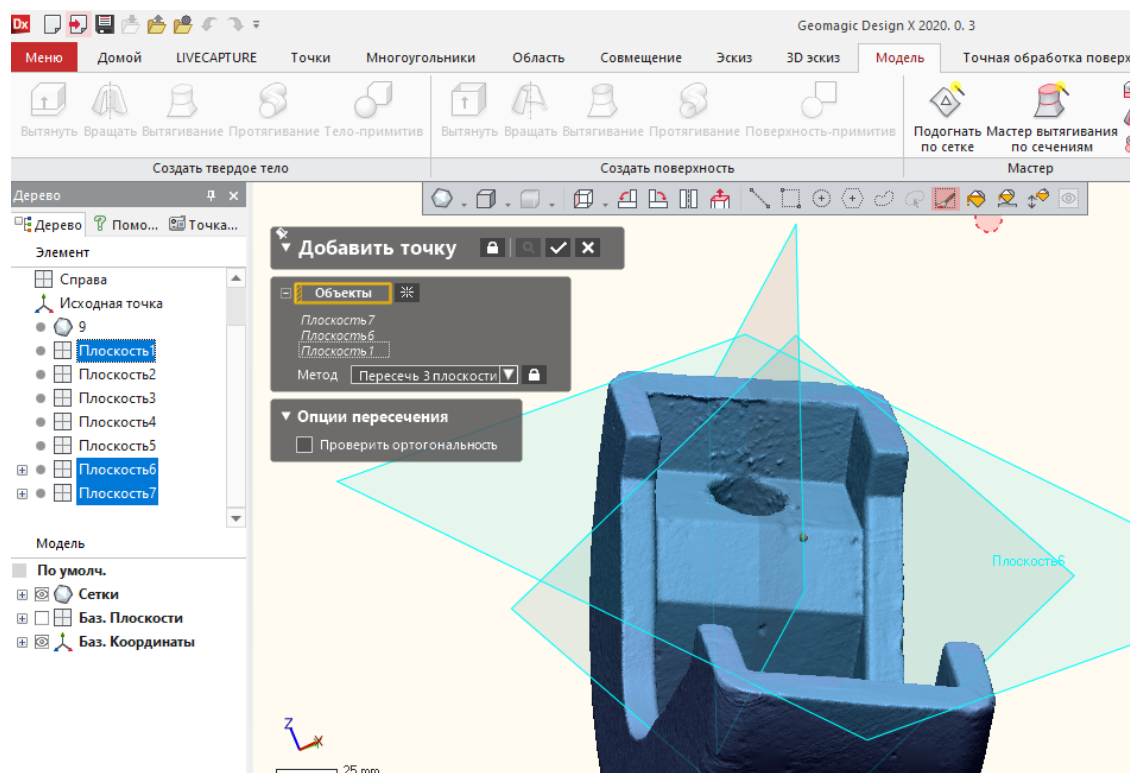


Рис. 173. Плоскости для выравнивания

Затем снова находим среднюю плоскость. После этого строим точку на пересечении плоскостей 7, 6, 1, (рис. 173), выбрав их в дереве – это будет «0» координат. Теперь есть вся базовая геометрия для выравнивания модели.

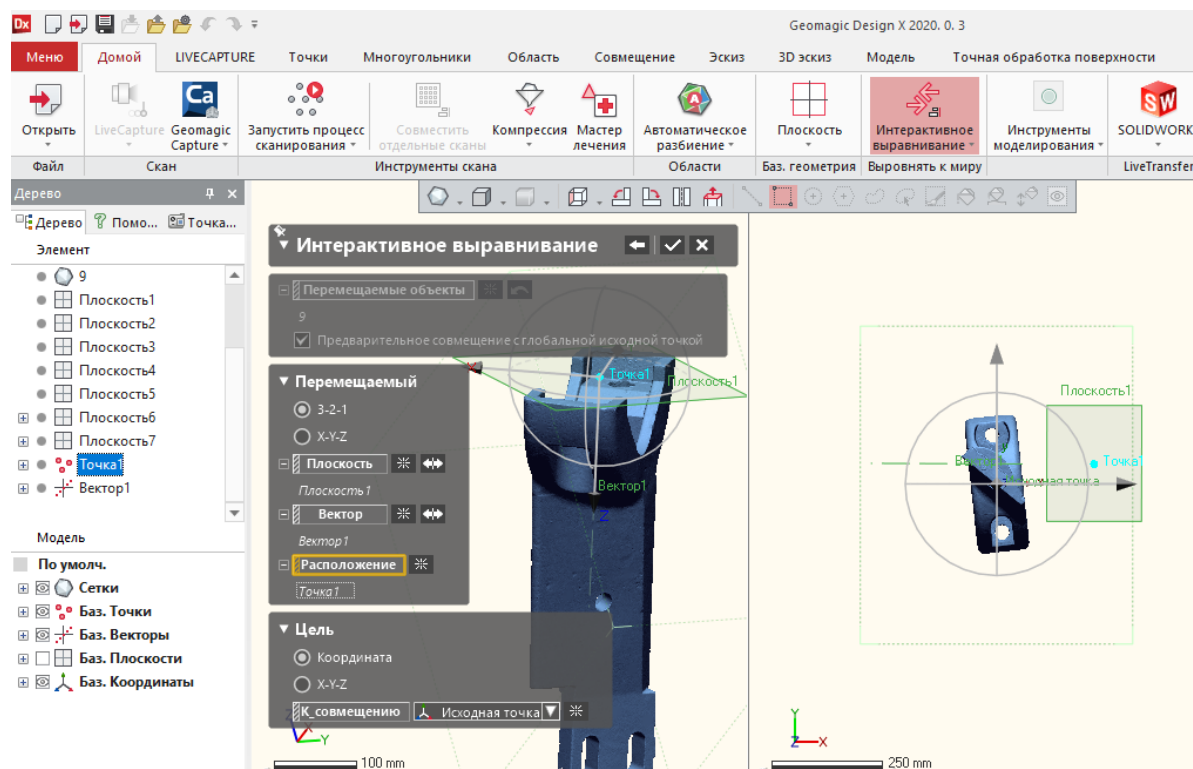


Рис. 174. Создаём базовые плоскости

Переходим во вкладку *Совмещение / Интерактивное выравнивание / Перемещаемые объекты* – наша стойка, далее *Основная плоскость* – плоскость №1, вектор – плоскость 4, расположение – наша точка и нажимаем *Принять*. Таким образом, наша точка выравнена в осях.

Теперь удаляем всю вспомогательную геометрию, для этого в дереве выбираем *Плоскость №1* и с зажатой клавишей *SHIFT* *Точку*, затем кликаем правой кнопкой мыши и *Удалить*.

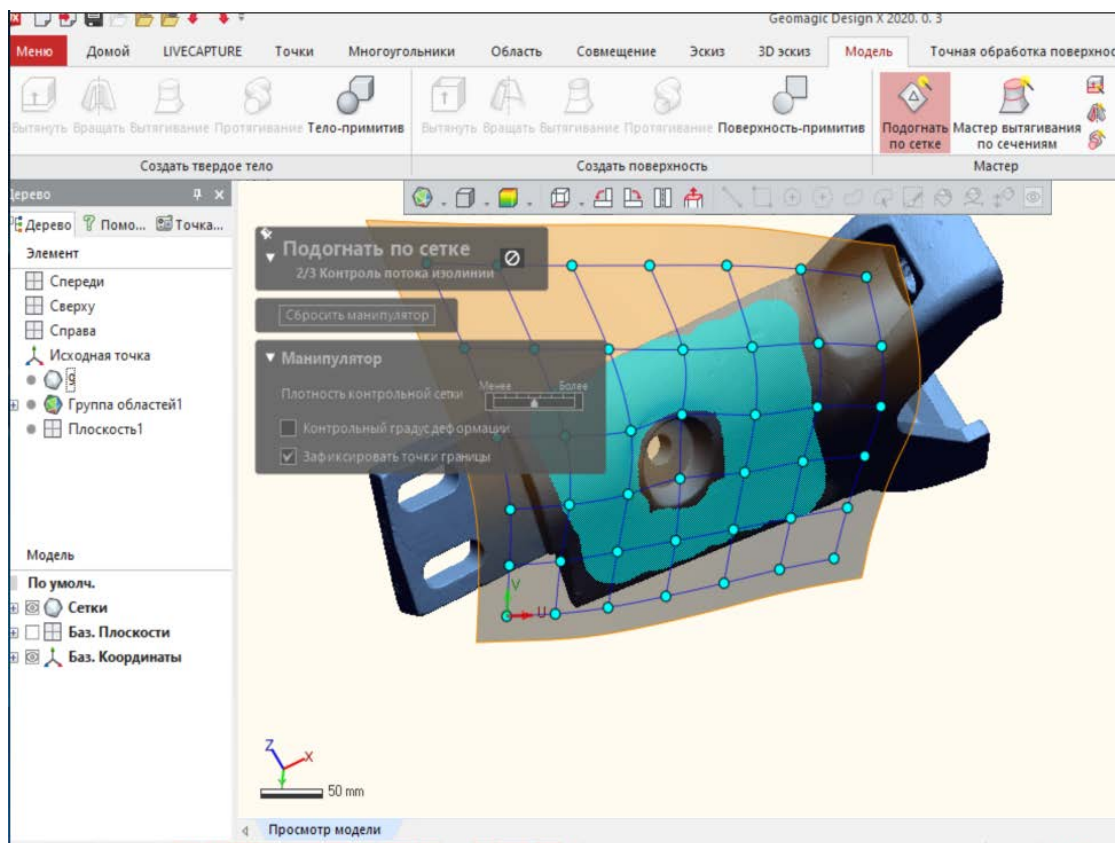


Рис. 175. Подгоняем поверхность по сетке

Начнем построение с центрального элемента стойки. Отключим видимость плоскостей для того, чтобы они нам не мешали.

Подбираем необходимый диаметр кисти и выбираем поверхность, можно выбрать с излишком, но затем убрать лишнее. После выбора с зажатой клавишей *CTRL* отменяем лишний выбор, такой как скругления. Переходим во вкладку *Модель*, смотрим чтобы не было выделено ничего лишнего, после чего нажимаем кнопку *подогнать по сетке*. В открывшемся меню нажимаем *Следующий этап* и видим предпросмотр нашей поверхности, которая построится. Если все устраивает, нажимаем *Применить*, либо возвращаемся на предыдущий этап и редактируем. После построения поверхности 1 отключаем видимость плоскостей.

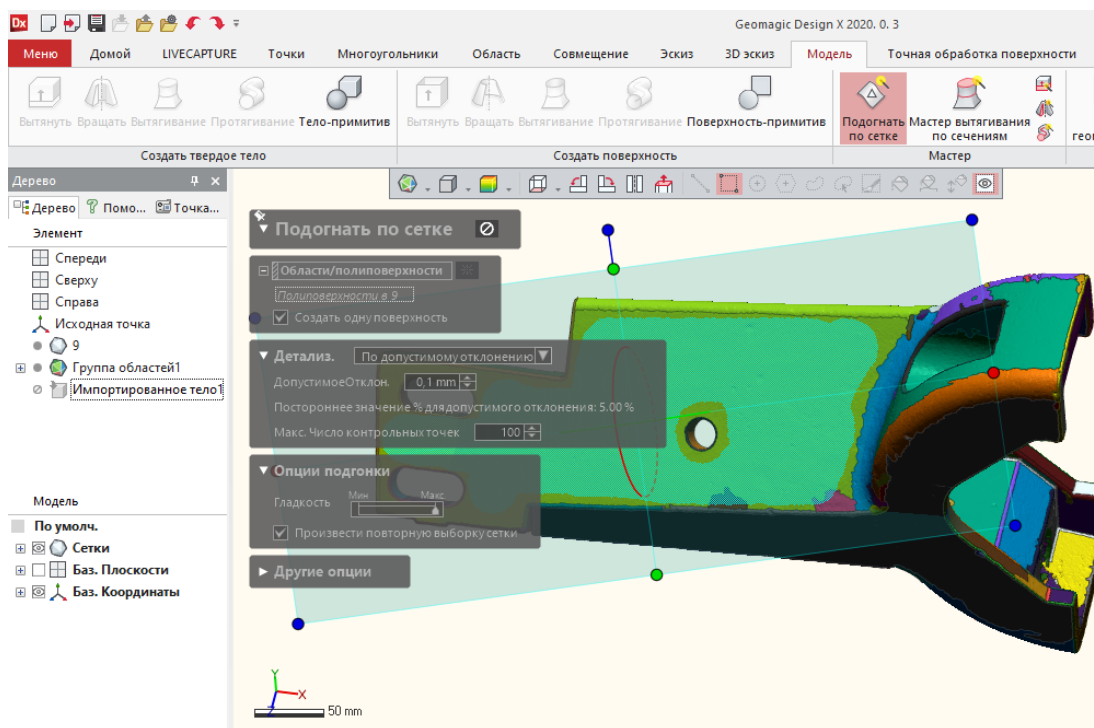


Рис. 176. Подгоняем следующую поверхность по сетке

Для построения поверхности 2 производим аналогичные действия со стороны, показанной на рис. 176. Можно использовать различные методы построения. Например, построить две отсекающие поверхности (сверху и снизу) и преобразовать в твердое тело, т. е. создать замкнутый объем и создать твердое тело, однако мы поступим по-другому.

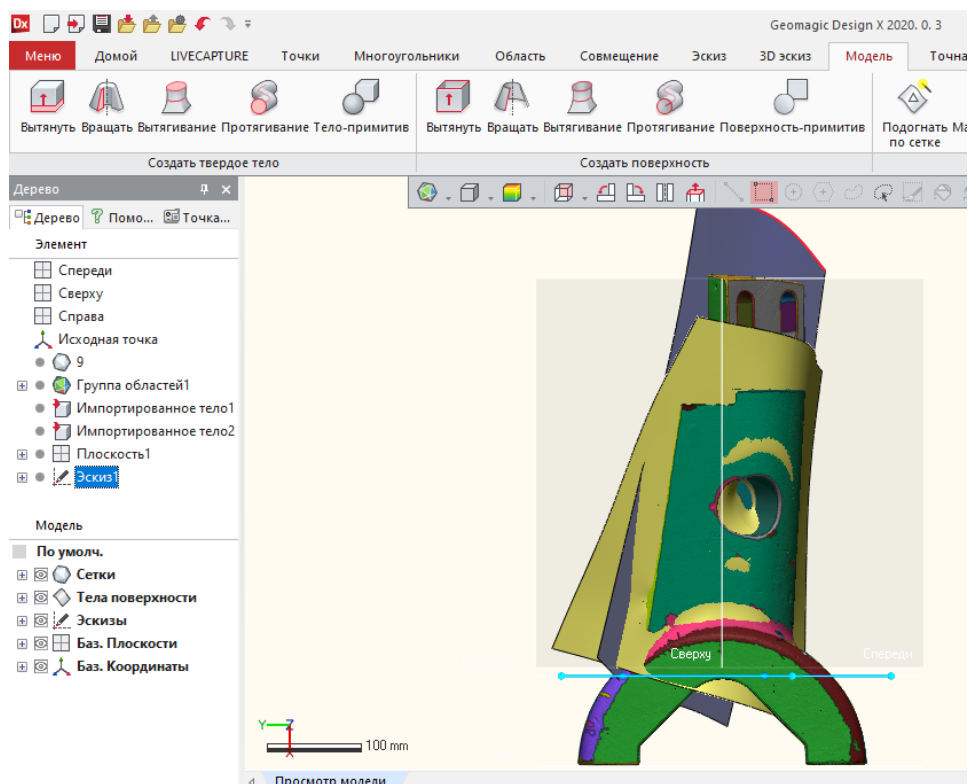


Рис. 177. Создаём вспомогательную плоскость

Создаем твердое тело. Включаем плоскости, отключаем поверхности. Выбираем режим выделения окружностью и выбираем плоскость *Спереди*, нажимаем кнопку *Плоскость*, смещение на 95 мм. Затем выбираем построенную плоскость, переходим во вкладку *Эскиз*, выбираем *Обычный эскиз*, при помощи линии с запасом обрисовываем наш элемент стойки, который сейчас будем строить (рис. 177), и нажимаем *Принять*.

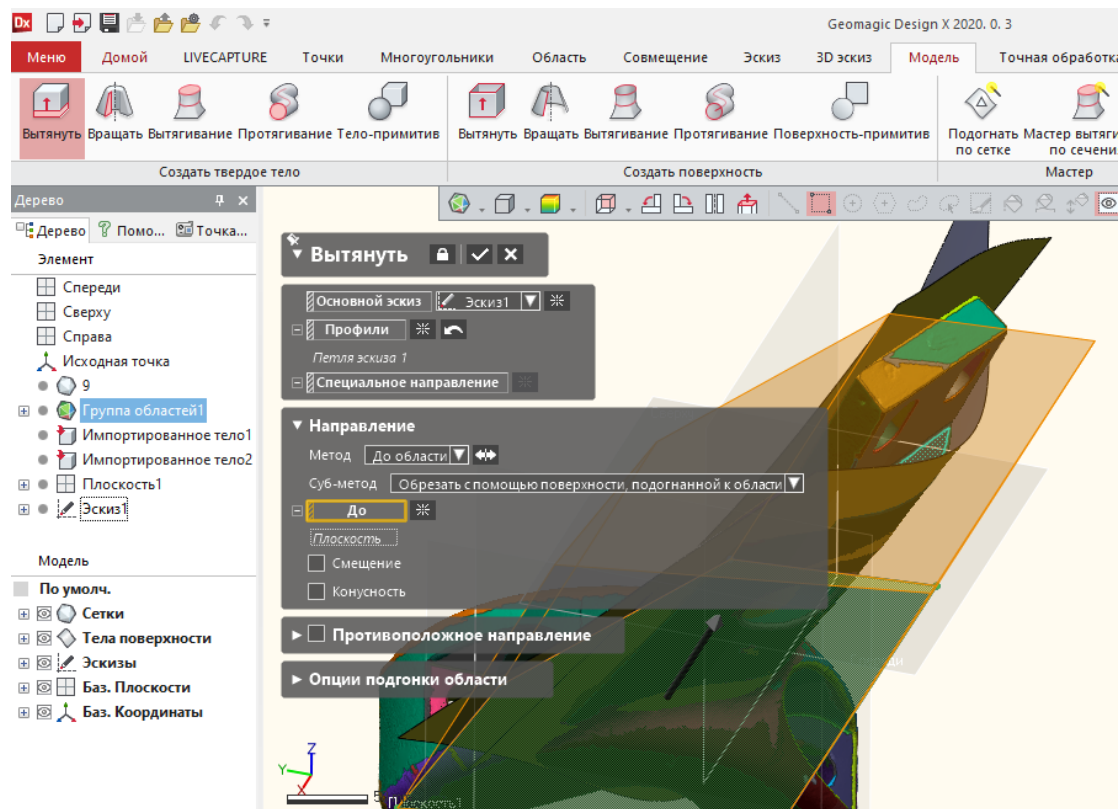


Рис. 178. Вытягиваем твёрдое тело

Снова переходим во вкладку *Модель / Вытянуть*, здесь можно подогнать как «на глаз» примерно 300 мм и сбросить, выбрать *Кисть*, которой выделить полигоны, как показано на рис. 178. Не заходя на скругление, перейти во вкладку *Область / Вставить* и получим плоскость. Возвращаемся во вкладку *Модель / Вытянуть* и выбираем *Эскиз 1*, метод *До области*, выбрав последнюю плоскость. Включаем *Видимость поверхностей*.

Мы видим, что наши плоскости не целиком пересекают наше твердое тело, выключим *Базовые плоскости*. Если мы попробуем использовать функцию *Вырезать*, выбрав в качестве рабочих поверхностей поверхности 1 и 2, а тела цели – наше твердое тело и перейдем к следующему шагу, то программа выдаст ошибку. Отменяем.

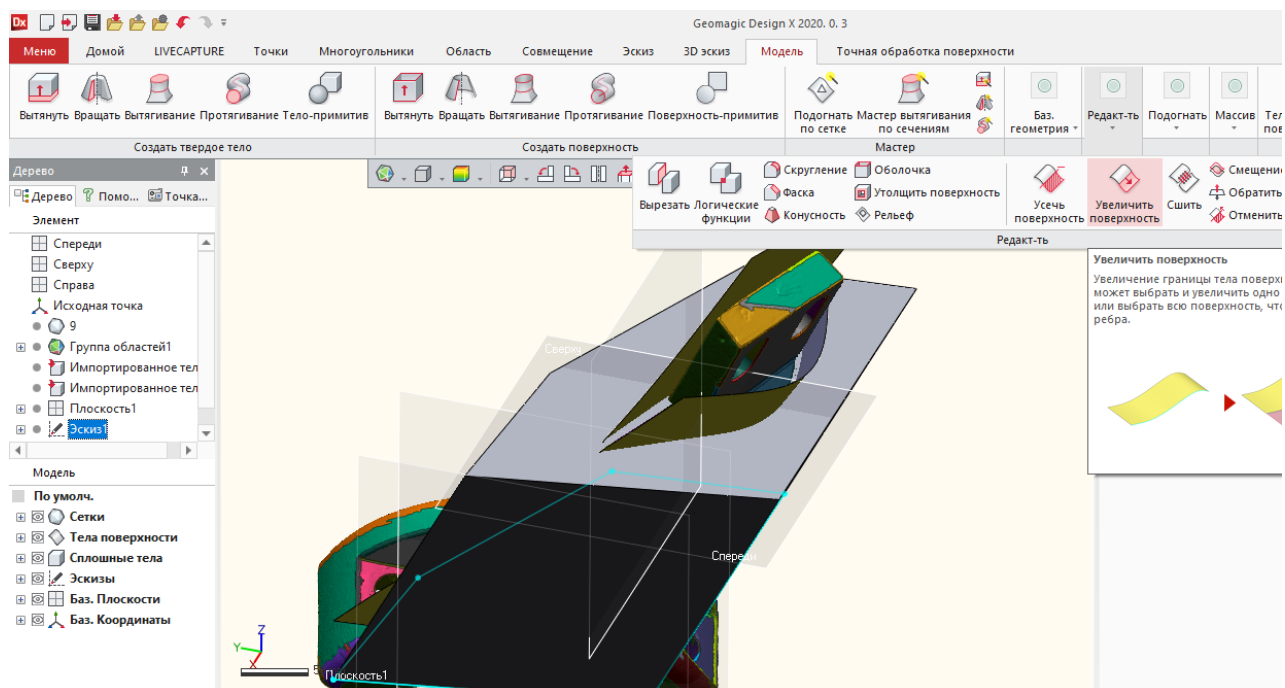


Рис. 179. Твёрдое тело

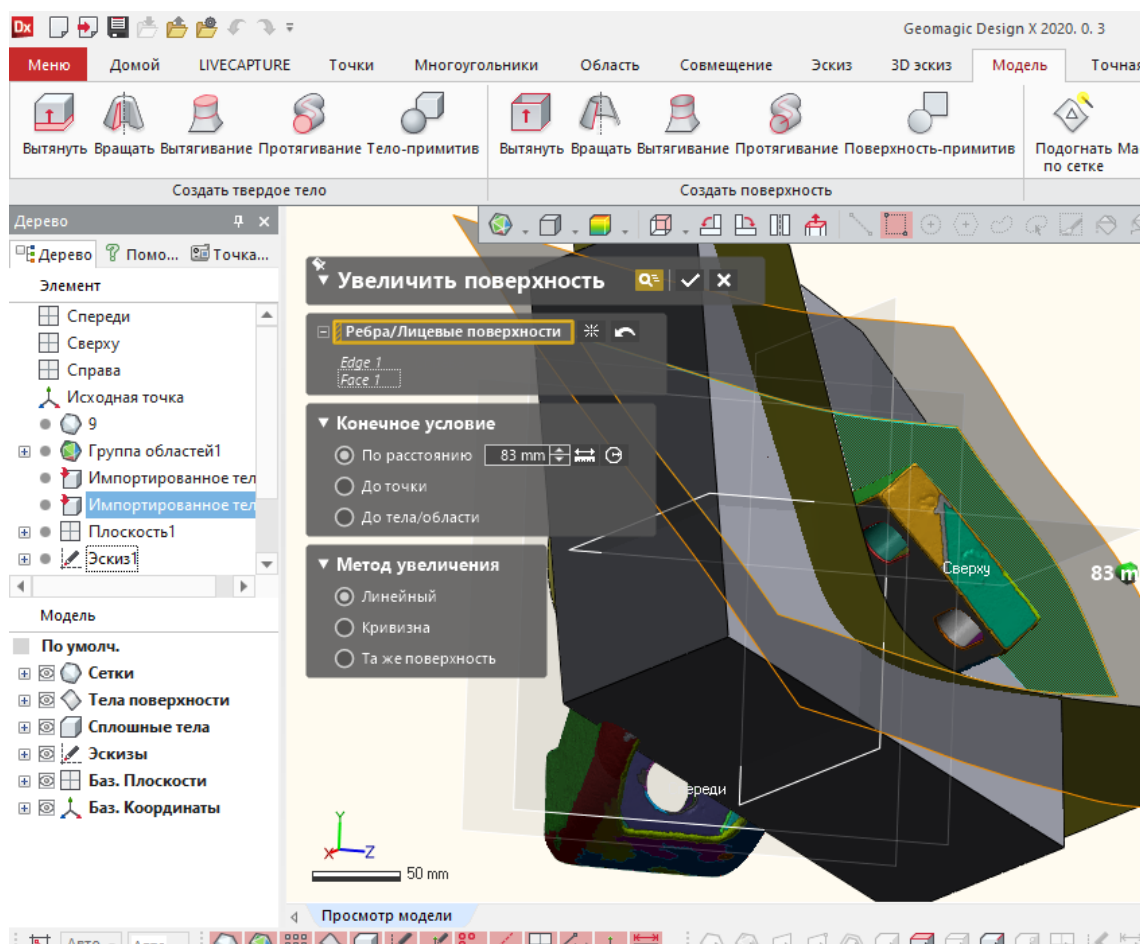


Рис. 180. Увеличиваем поверхности

Нажимаем *Редактировать / Увеличить поверхности / Метод* – та же поверхность и вытягиваем плоскости, как показано на рис. 180 – так, чтобы они пересекли тело, то же самое повторяем со второй поверхностью.

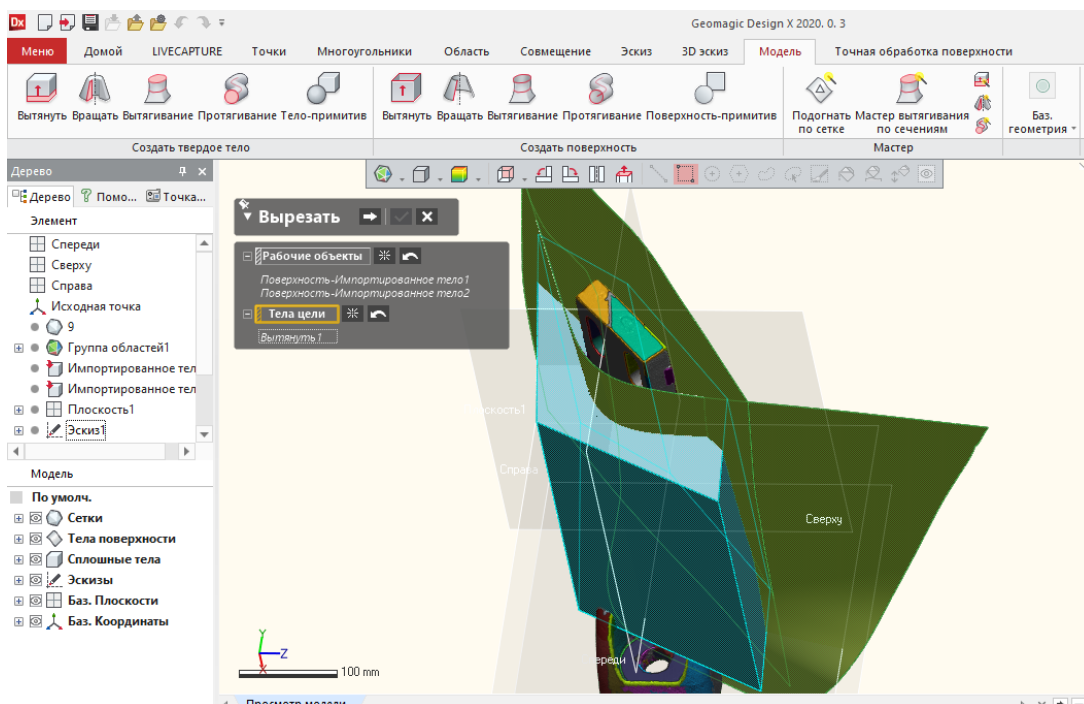


Рис. 181. Вырезаем поверхностями нужное по форме тело

Редактировать / Вырезать / Рабочие объекты / Поверхности 1 и 2 / Тела цели / Тело 1, нажимаем Далее, и выбираем кусок твердого тела, который должен остаться, применяем. В фильтрах выключаем видимость поверхностей. Таким образом, сформировали твёрдое тело.

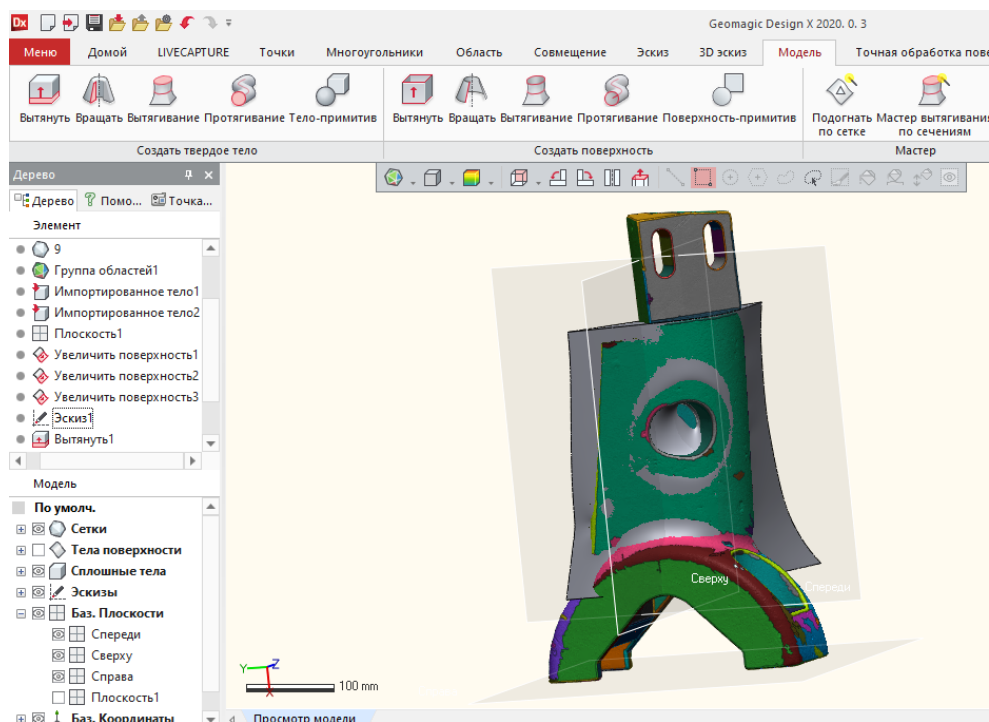


Рис. 182. Вырезанное тело плотно прилегает к поверхности

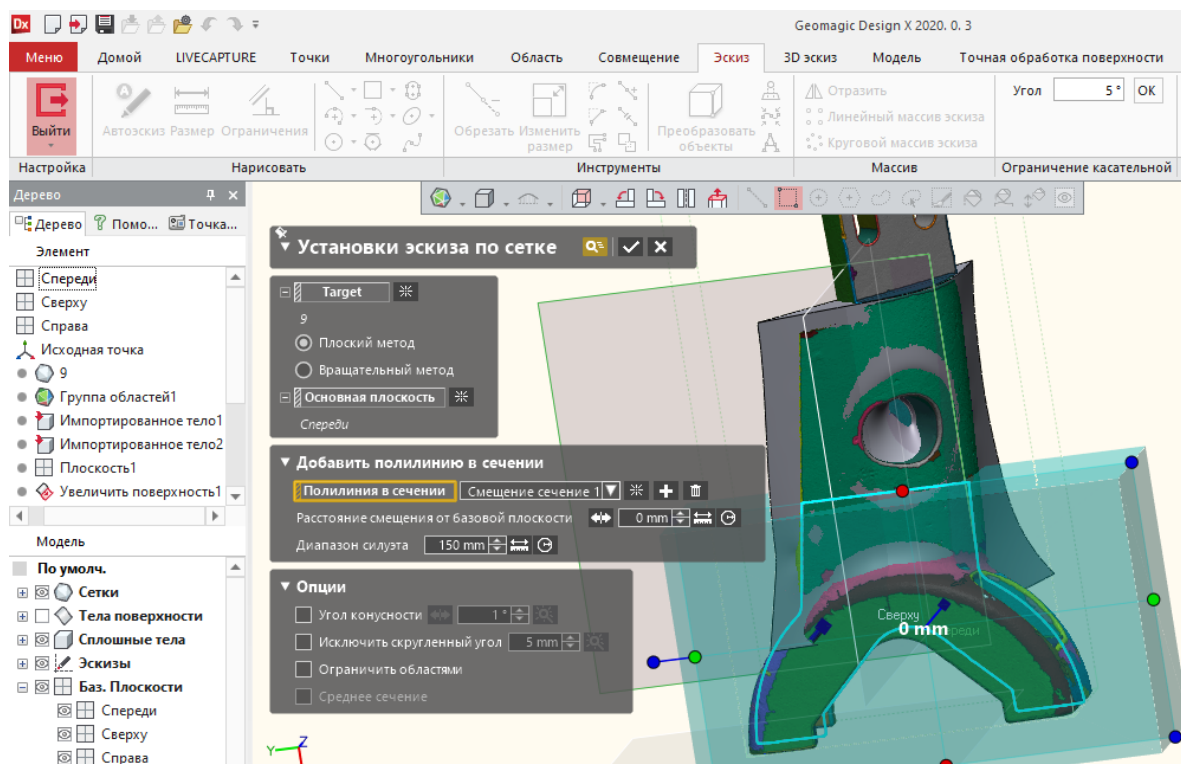


Рис. 183. Установка эскиза по сетке

Включаем видимость базовых плоскостей. Плоскость 1 можно отключить. Выбираем плоскость *Сверху* / *Эскиз* / *Эскиз по сетке*. Уменьшаем зону, нам нужна только нижняя часть. Далее за толстую, желтую стрелочку растягиваем, в настройках контекстного меню увеличиваем диапазон силуэта до 150 мм. Таким образом, получаем диапазон силуэта, из которого программа достанет эскиз. Отключаем видимость твердого тела и сетки.

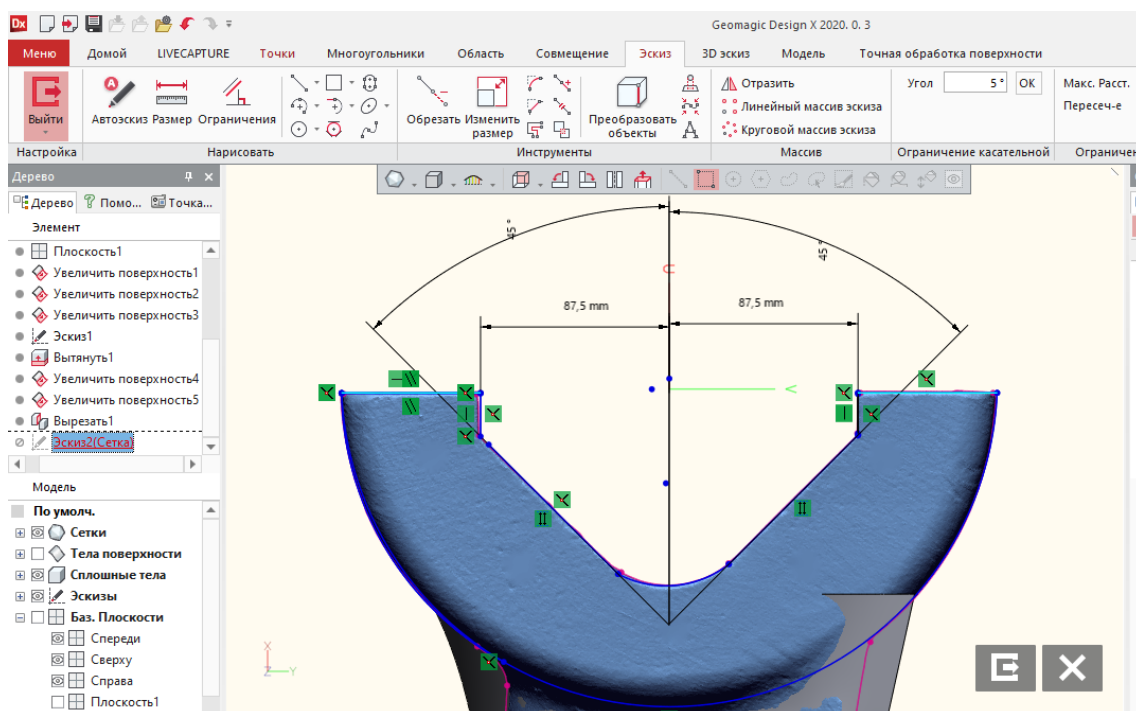


Рис. 184. Создаем эскиз

Далее стандартными инструментами работы с эскизами отрисовываем наш эскиз. Задаем параметры вертикальности для линий, дважды кликнув на них. Выставляем размеры от оси в две стороны и задаем 87,5 мм. Дважды кликаем на вертикальные линии и задаем, что у них равная длина. Такую же операцию проделываем для наклонных линий. Задаем для них *Размер* 45°. Далее строим дугу по трем точкам. Для этого сначала выставляем *Точки / Касательные к прямой*, а затем на окружности. Подгоняем усреднено по окружности. Обрезаем лишнее в эскизе. Нажимаем на *Точку* и задаем координату 0 по X. Выходим из эскиза.

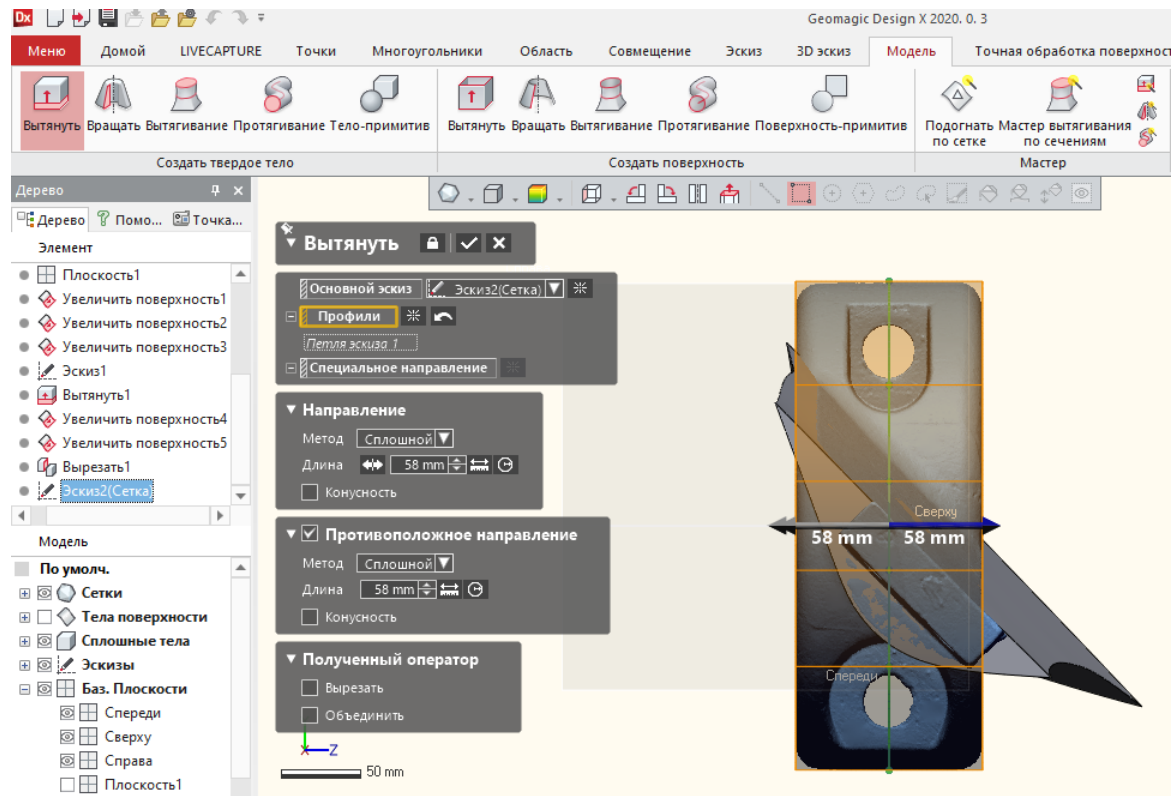


Рис. 185. Вытягиваем нижнюю часть детали

Переходим во вкладку *Модель / Вытянуть*, длину указываем 58 мм.

Получаем 2 твердых тела. Если бы при выдавливании нажали кнопку *Объединить*, это было одно твердое тело. Но в данном случае это не нужно.

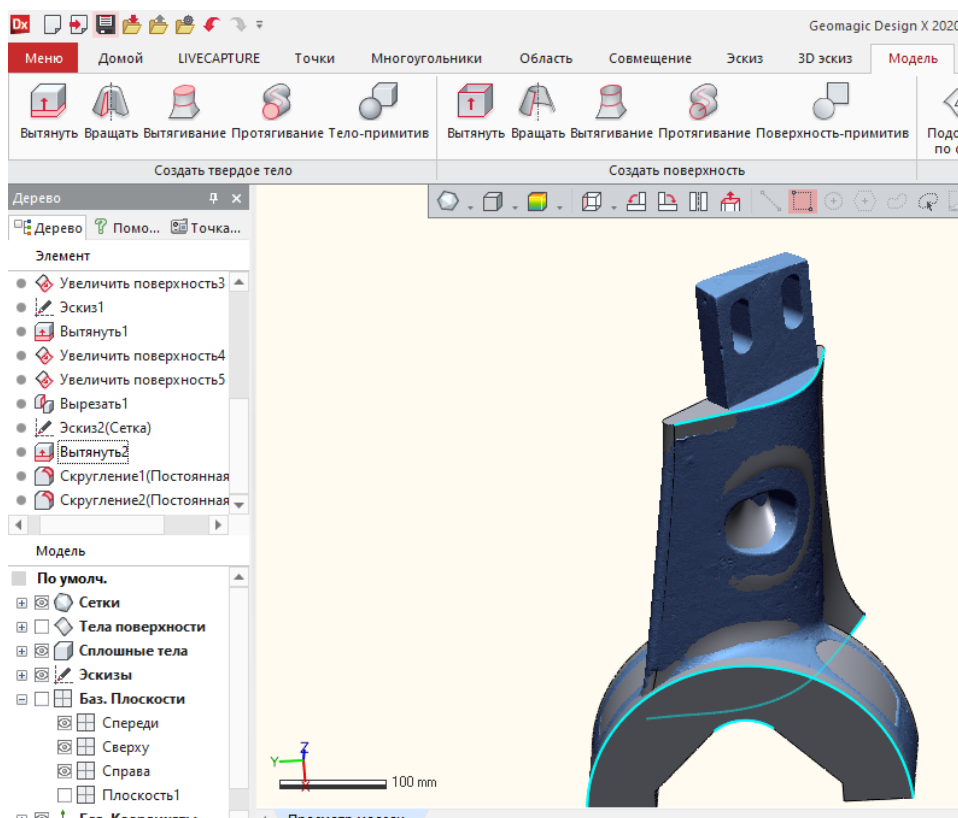


Рис. 186. Твёрдотельная деталь

Отключаем видимость плоскостей. Во вкладке *Модель* выбираем *Редактировать / Скругление*, выбираем острую грань в центральной части стойки и нажимаем *Определить радиус от сетки*, принимаем.

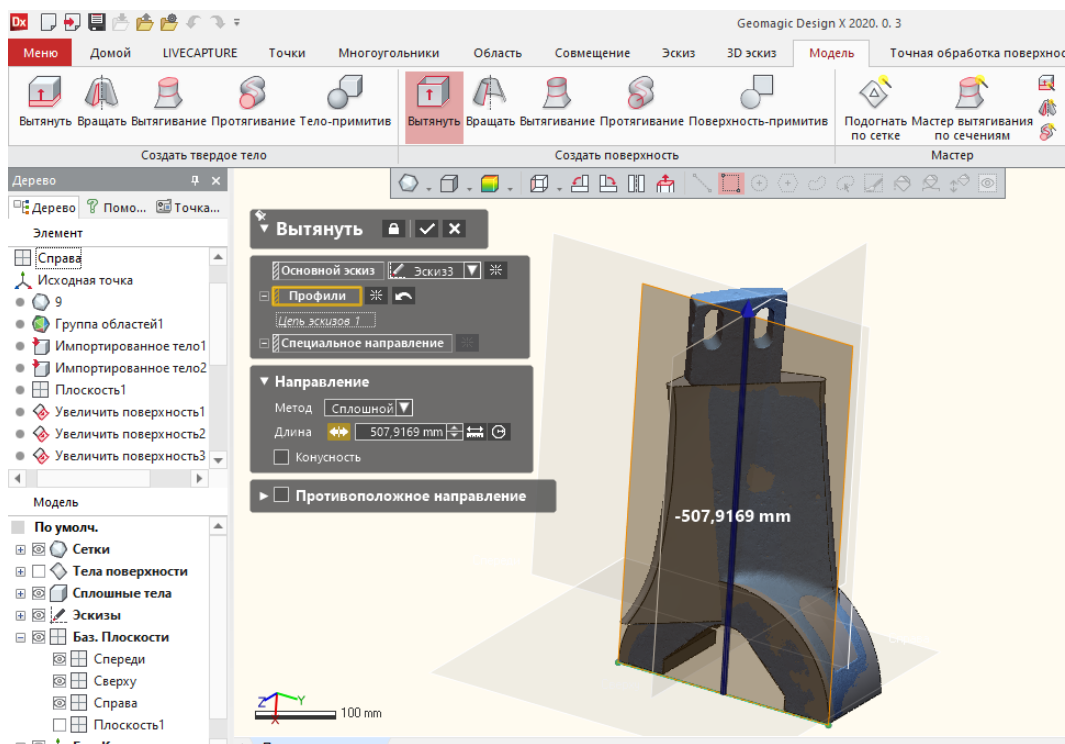


Рис. 187. Создаём поверхность для среза

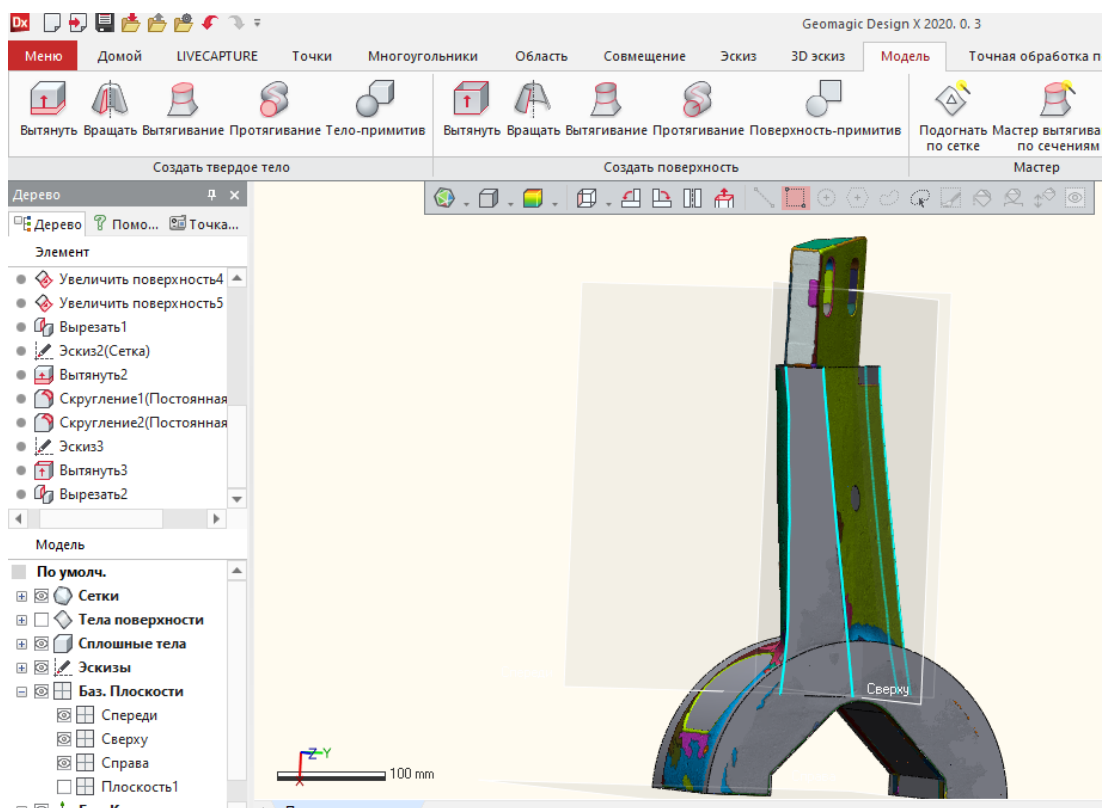


Рис. 188. Деталь со срезом

Далее включаем базовые плоскости, выбираем *Плоскость 1* и переходим во вкладку *Эскиз*, строим эскиз, нажимаем *Преобразовать объекты* и выбираем линию, показанную на рис. 188, принимаем и выходим из эскиза. Во вкладке *Модель*, в подразделе *Создать поверхность* нажимаем *Вытянуть* и вытягиваем эту поверхность так, чтобы она пересекала центральную часть стойки. Включаем *Видимость поверхностей*. Далее *Редактировать / Вырезать*. В качестве «рабочего объекта» выбираем нашу поверхность, а «тела цели» – твердое тело, на следующем шаге выбираем оставшиеся элементы и нажимаем *Применить*. Отключаем поверхности.

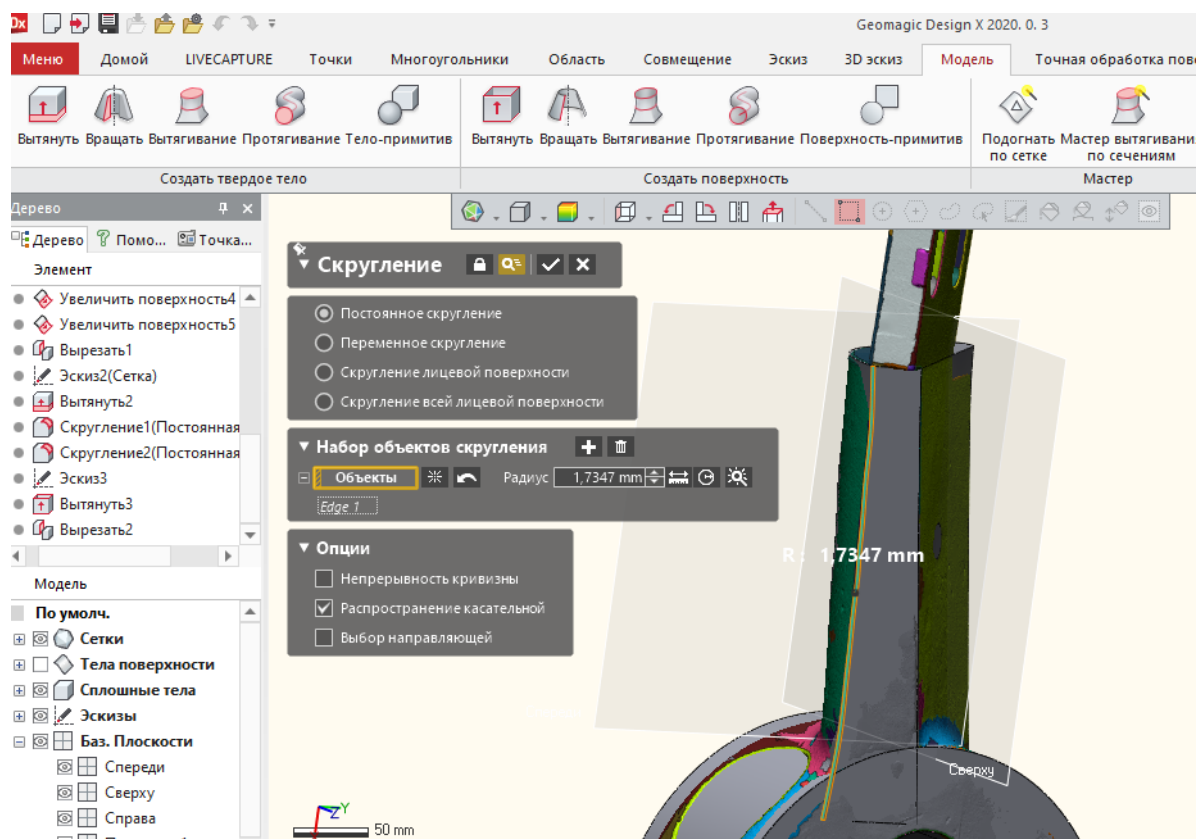


Рис. 189. Скругляем острые углы

Во вкладке *Модель* выбираем *Редактировать / Скругление* выбираем *Грань*, как показано на рис. 189, *Определить радиус от сетки*, применяем и повторяем операцию со второй гранью.

Отключаем видимость модели, *Редактировать / скругление*. Выбираем *Дугу / Окружность* и затем нажимаем *Определить радиус от сетки*, применяем.

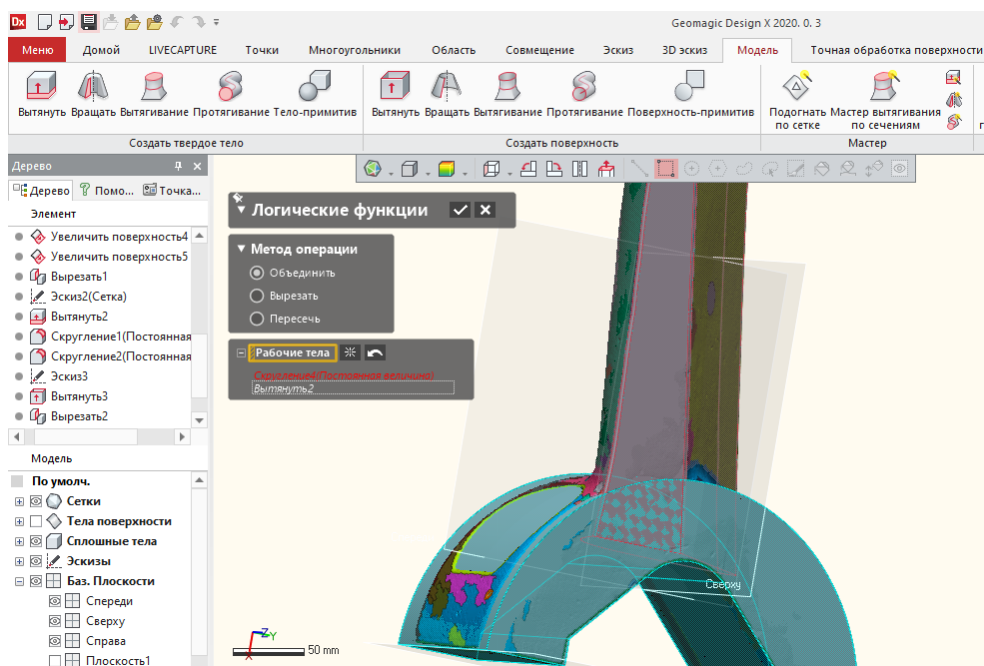


Рис. 190. Объединяем отдельные детали

Далее выбираем *Редактировать / Логические функции / Объединить* и выбираем в дереве два твердых тела. Таким образом, получаем одно твердое тело.

Функцию *Редактировать / Скругление*, поставив галочку в пункте *Распространение касательной*, повторяем, выбрав стык двух бывших тел, ставим галочку в пункте *Распространение касательной*, затем нажимаем *Определить радиус от сетки*, применяем. Затем скругляем тыльную поверхность полуокружности. В дереве поменяем местами последнее и предпоследнее скругление, просто перетянув одно из них.

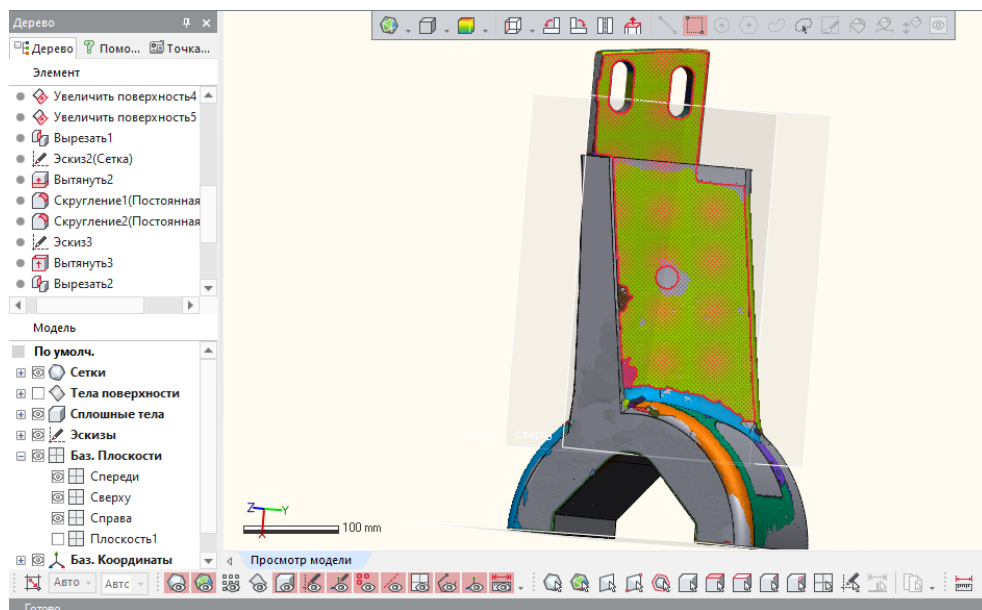


Рис. 191. Скругляем острые углы по форме модели

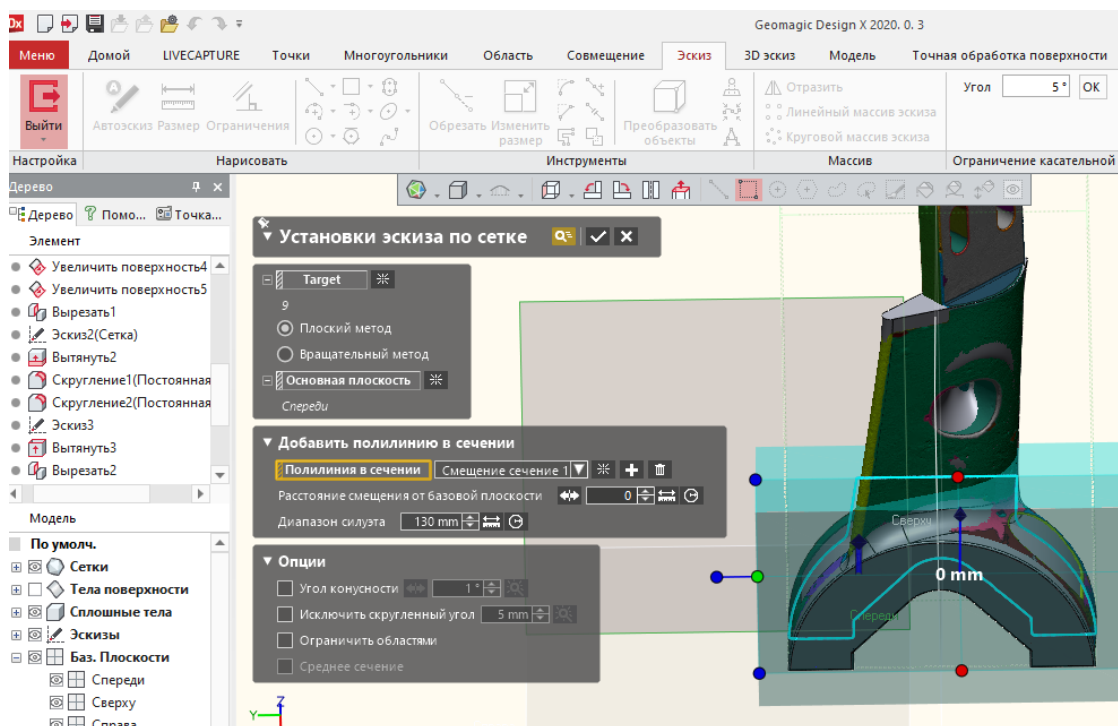


Рис. 192. Эскиз по сетке

Включаем видимость базовых плоскостей, выбираем плоскость «Сверху», переходим во вкладку *Эскиз* и выбираем *Эскиз по сетке*. Сжимаем область так, чтобы попадала только часть крепления стойки к валу, и за толстую стрелочку увеличиваем диапазон силуэта примерно до 130 мм, применяем. Отключаем видимость тела, включаем видимость сетки. Для удобства можем включить области, во вкладке *Свойства* (правое меню), *Отображение*, ставим галочку *Срез* и нажимаем *Установить*, выбираем центральную плоскость, и программа показывает срез детали в данной плоскости. Отключаем видимость базовых плоскостей, выравниваем вид. Видим, что эскиз построился некорректно.

Возвращаемся. Снова нажимаем эскиз по сетке, уменьшаем область, нажимаем на «+», *Добавить сечение*. Мы добавили сечение 1, а сечение 2 уже в расширенном диапазоне добавляем и нажимаем *Применить*.

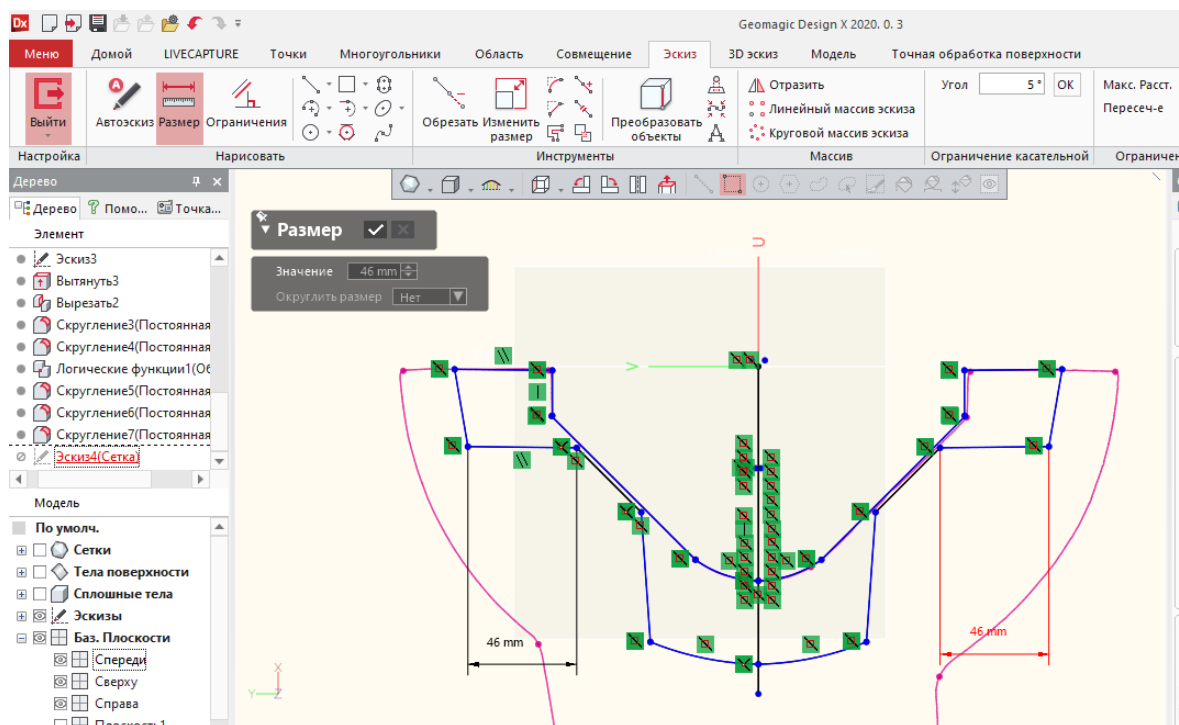


Рис. 193. Отрисовываем эскиз

Отрисовываем эскиз. Начинаем с базовой линии (горизонтальная верхняя), автоматически отрисовываем все прямые линии. Добавляем вертикальную прямую по центру эскиза, нажав на нее правой клавишей, выбираем геометрию построения.левой кнопкой выбираем внутренние вертикальные линии, затем параметры *Прямые / Параллельны* и *Равная длина*, увеличиваем их до базовой. Теперь проставляем размер от центра 87,5, далее задаем угол для наклонных линий, равный 45° , также выставляем равенство длины и совмещаем их верхние точки с нижними на вертикальных линиях. Рисуем дугу, дважды щелкаем на центр дуги, задаем $X = 0$. Отрисовываем все оставшиеся линии эскиза с одной стороны, выбираем инструмент *Отразить*, нашу линию симметрии и отражаем наши линии. Можно заметить, что отраженные линии не симметричны, однако считаем это за ошибку сканирования в данном случае. Строим дугу по трем

точкам. Обрезаем все лишнее. В правом меню выбираем *Accuracy Analyzer* и подтягиваем все точки до неразделенных концов. Выходим из эскиза.

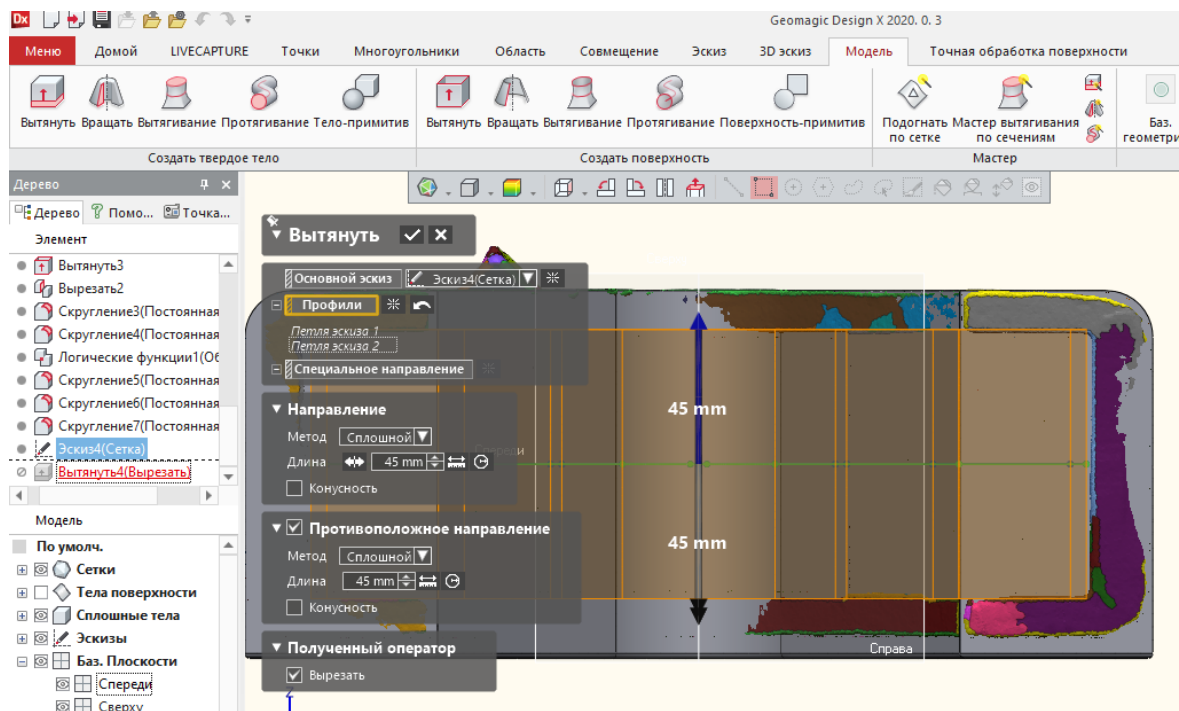


Рис. 194. Вытягиваем внутреннюю часть детали

Переходим во вкладку *Модель*, в отображении отключаем наш срез, включаем твердое тело. Нажимаем *Вытянуть* в подразделе *Создать твердое тело*, выбираем все элементы эскиза, как показано на рис. 194, видим, что программа не выдает ошибок. Выдавливание можно осуществить, построив плоскости на внутренних поверхностях либо области при помощи инструмента *Кисть*, либо же осуществить «на глаз» на усмотрение конструктора. В нашем случае ввиду простой геометрии используем последний метод, включаем соответствующий вид, вытягиваем на 45 мм, *Противоположное направление*, *Сплошной*, так же 45 мм, ставим оператор *Вырезать* и нажимаем *Применить*. Проверяем наше твердое тело.

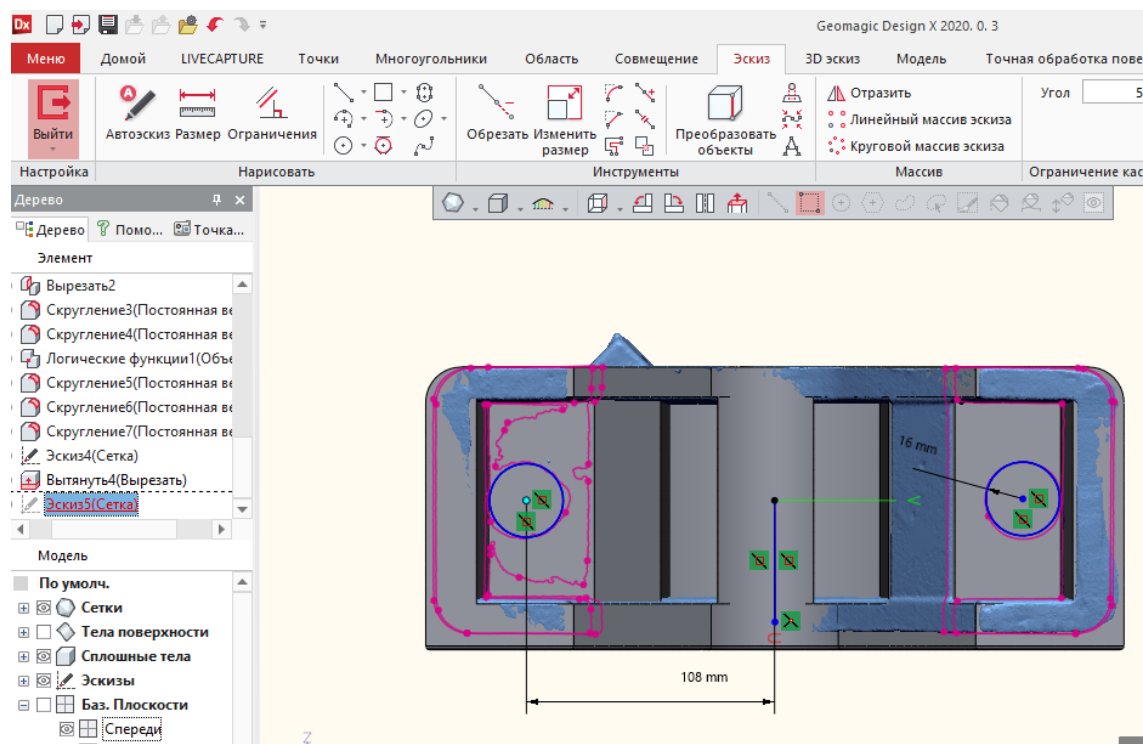


Рис. 195. Создаём отверстия

Далее выключаем *Видимость полигональной сетки*. Выбираем поверхность, показанную на рис. 195, строим *Эскиз по сетке*, так же уменьшив объем, и смещаем примерно на 5 мм. Строим окружности, дважды щелкаем по обеим ЛКМ *Равный радиус*, размер задаем 16 мм, далее задаем размер от оси Y 108,5 мм. Дважды щелкнем на центр окружности и задаем по Y значение, равное 0, со второй проделываем то же самое. Применяем *Эскиз*.

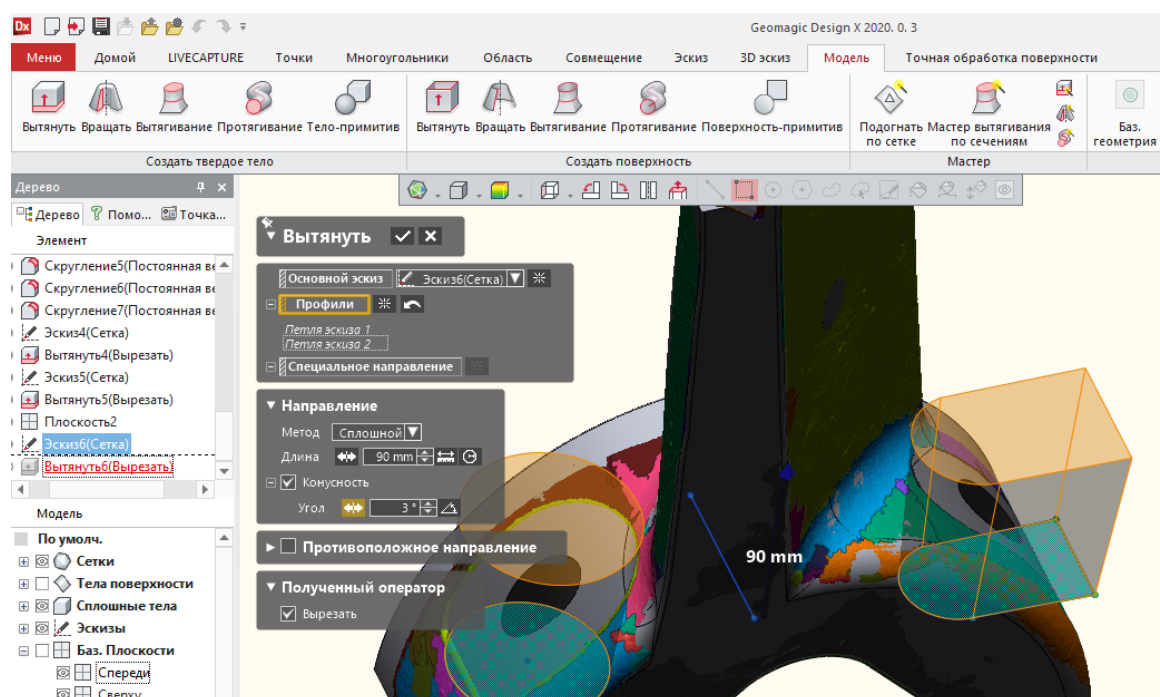


Рис. 196. Создаём отверстия

Во вкладке *Модель* вытягиваем твердое тело с помощью оператора *Вырезать*, задаем направление и продельываем сквозные отверстия.

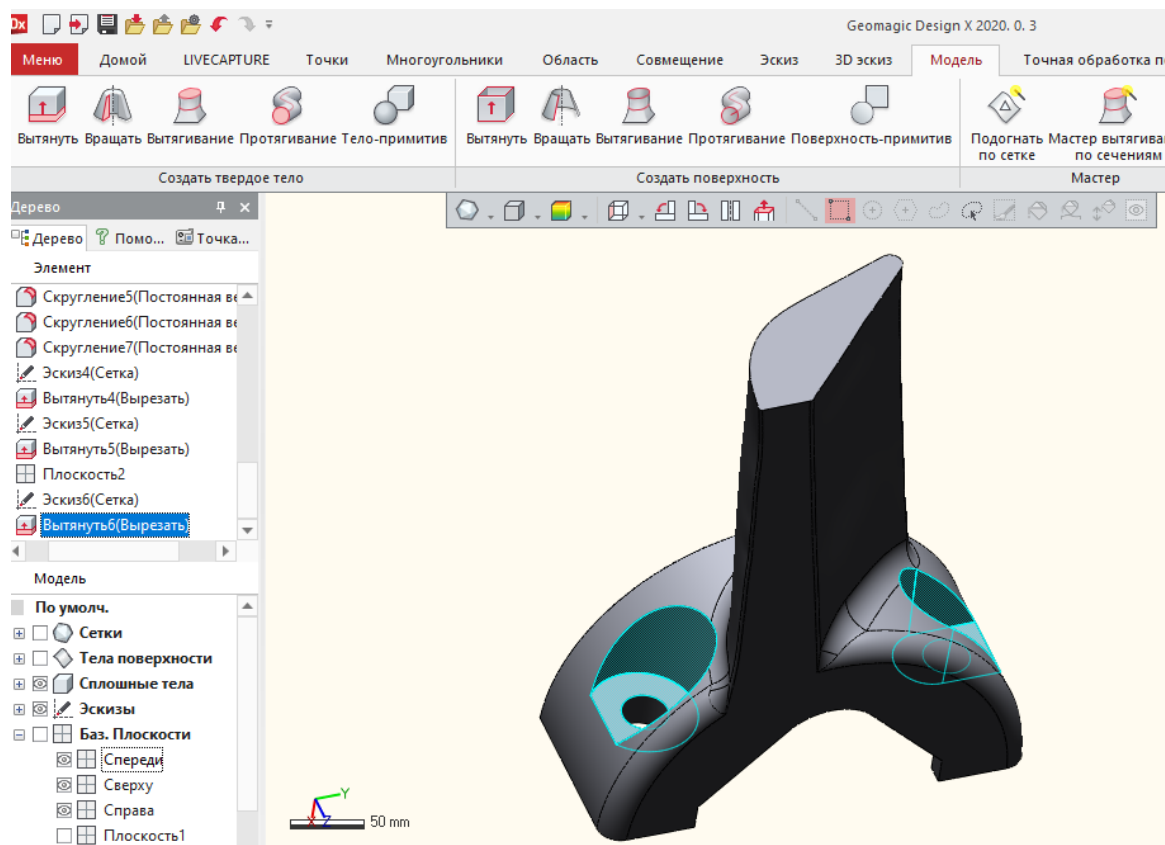


Рис. 197. Твёрдотельная модель

Выключаем видимость твёрдого тела, включаем видимость скана. Переходим во вкладку *Области*, выбираем *Кисть* и выбираем участки, используем команду *Вставить*. Во вкладке *Свойства* правого меню ставим тип геометрии *Плоскость*. Включаем твёрдое тело, используя функцию *Измерение расстояния*, измеряем расстояние между плоскостями, ставим совмещение по оси Z. Включаем твёрдое тело. Переходим *3D – модель / Плоскость*, выбираем поверхность *Метод Смещение*. Смещаем на 24, 35 мм вниз. В созданной плоскости переходим во вкладку *Эскиз* и создаем *Эскиз по сетке*, в отображении отключаем срез, уменьшаем зону и смещаем на 1 мм. Отключаем *Модель* и включаем *Твёрдое тело*. Строим окружность как дугу, далее беремся за край дуги и завершаем окружность, то же продельываем и со второй окружностью. Нажимаем *смещение* и выставляем размер 21 мм. Далее строим линии, выстраиваем их параллельность, горизонтальность и равную длину. Замыкаем из вертикальной линии выходя за контур, строим дугу по трем точкам. Создаем дополнительную геометрию слева и подстраиваем дугу в левой части эскиза. Обрезаем лишние элементы. Принимаем эскиз.

Во вкладке *Модель* вытягиваем твёрдое тело, включив видимость тела, с помощью функции *Вырезать*, так же выбираем *Конусность* обратную 3°.

Строим круглое отверстие в средней части.

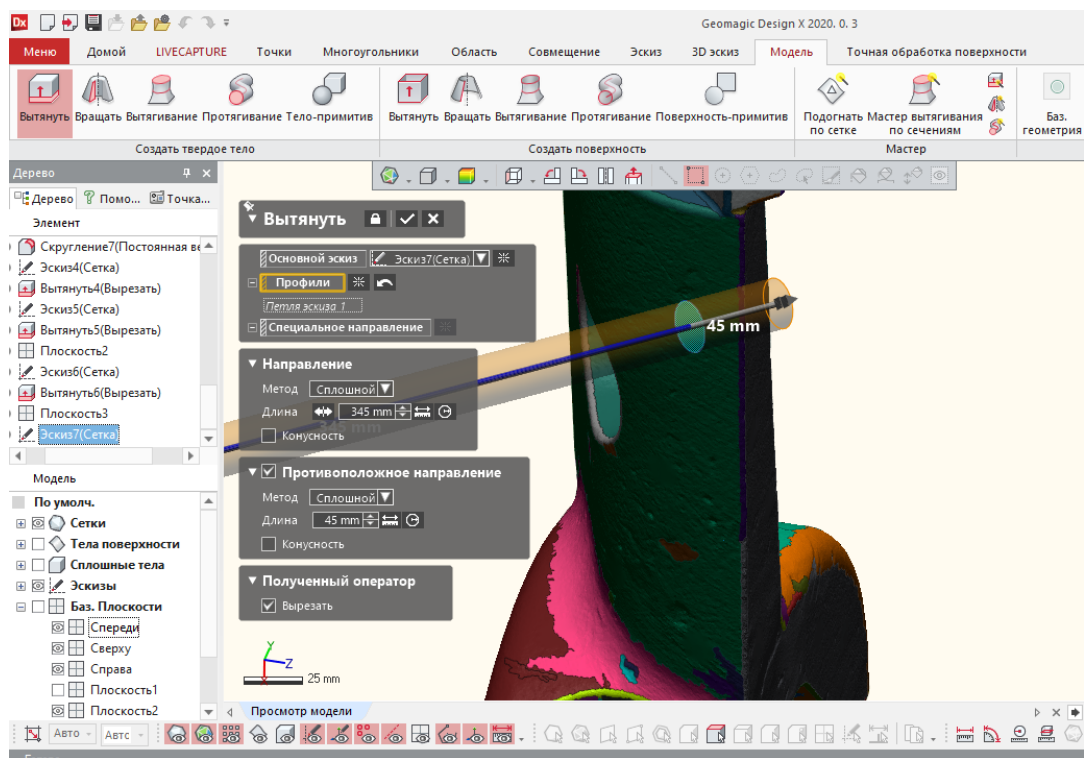


Рис. 198. Создаём отверстия

Добавляем область при помощи *Кисти* во вкладке *Область*, как показано на рис. 198. Выбираем эту область, создаем эскиз по сетке, уменьшаем область и вытягиваем на 1,5 мм, вырезаем большую окружность, затем делаем такой же эскиз малой окружности и также вырезаем.



Рис. 199. Деталь с отверстиями

Построение верхней части детали. Выделяем кистью и строим область, как показано на рис. 199. Аналогично делаем с обратной стороны. В свойствах меняем тип на *Плоскость*. Во вкладке *Модель* извлекаем плоскость. И в этой плоскости создаем эскиз по сетке, уменьшив область до нужного нам значения, диапазон силуэта выстраиваем 65 мм. С помощью *Преобразовать объекты* преобразуем нижнюю линию и от нее строим элементы, обрезаем лишнее. С помощью функции *Слот* прорисовываем отверстия. Дважды с зажатой клавишей *SHIFT* щелкаем по окружностям и выставляем равные радиусы, для линий выставляем равную длину и параллельность.

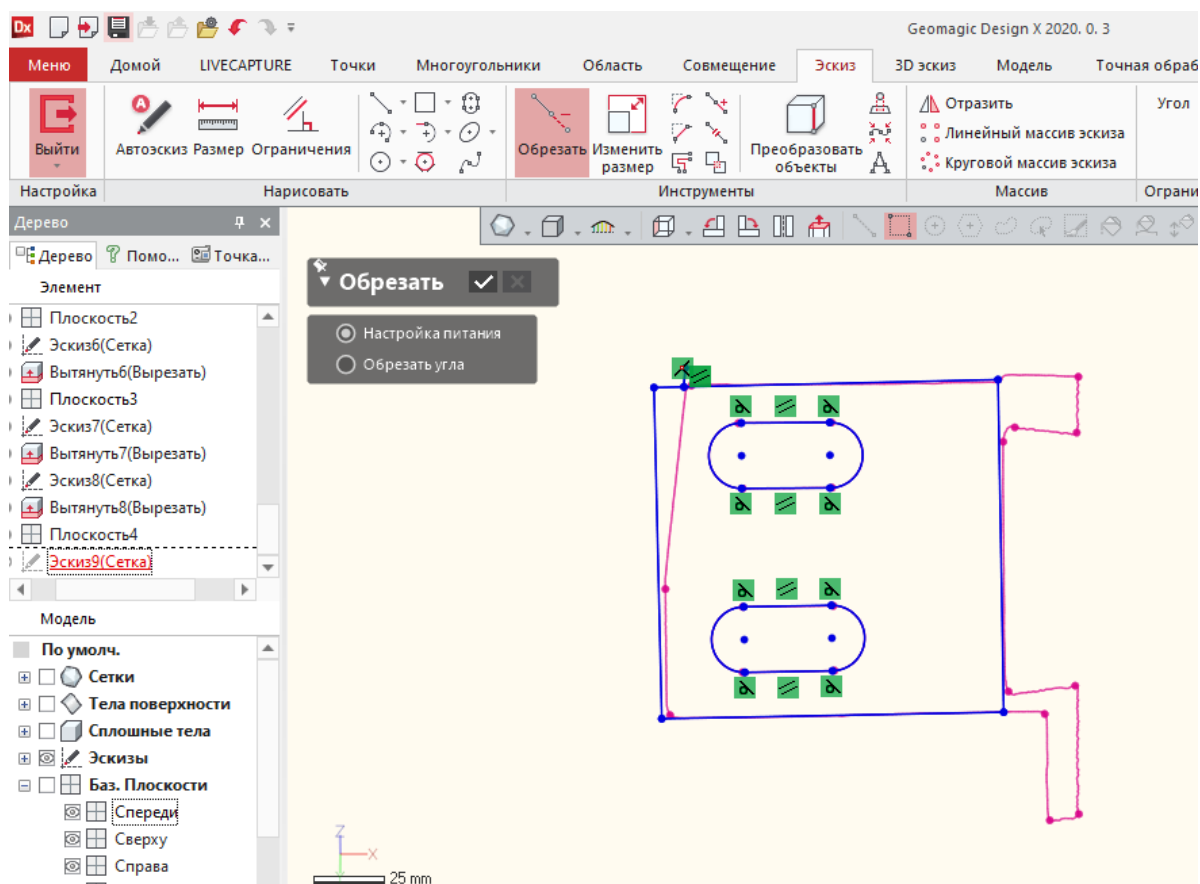


Рис. 200. Эскиз верхней части детали

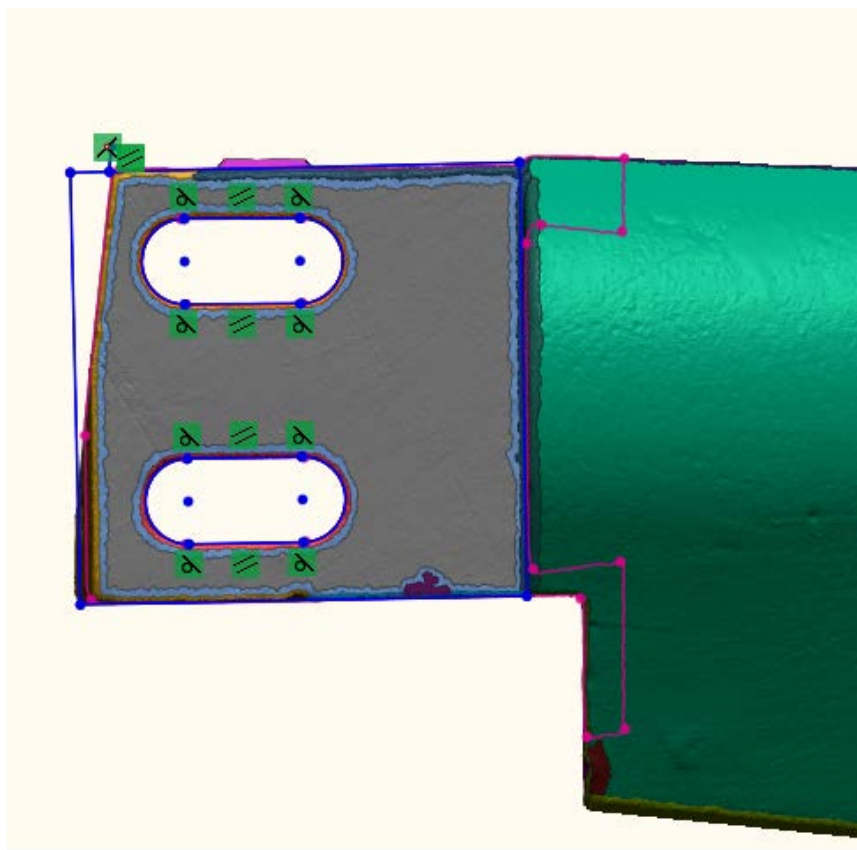


Рис. 201. Уточняем форму эскиза

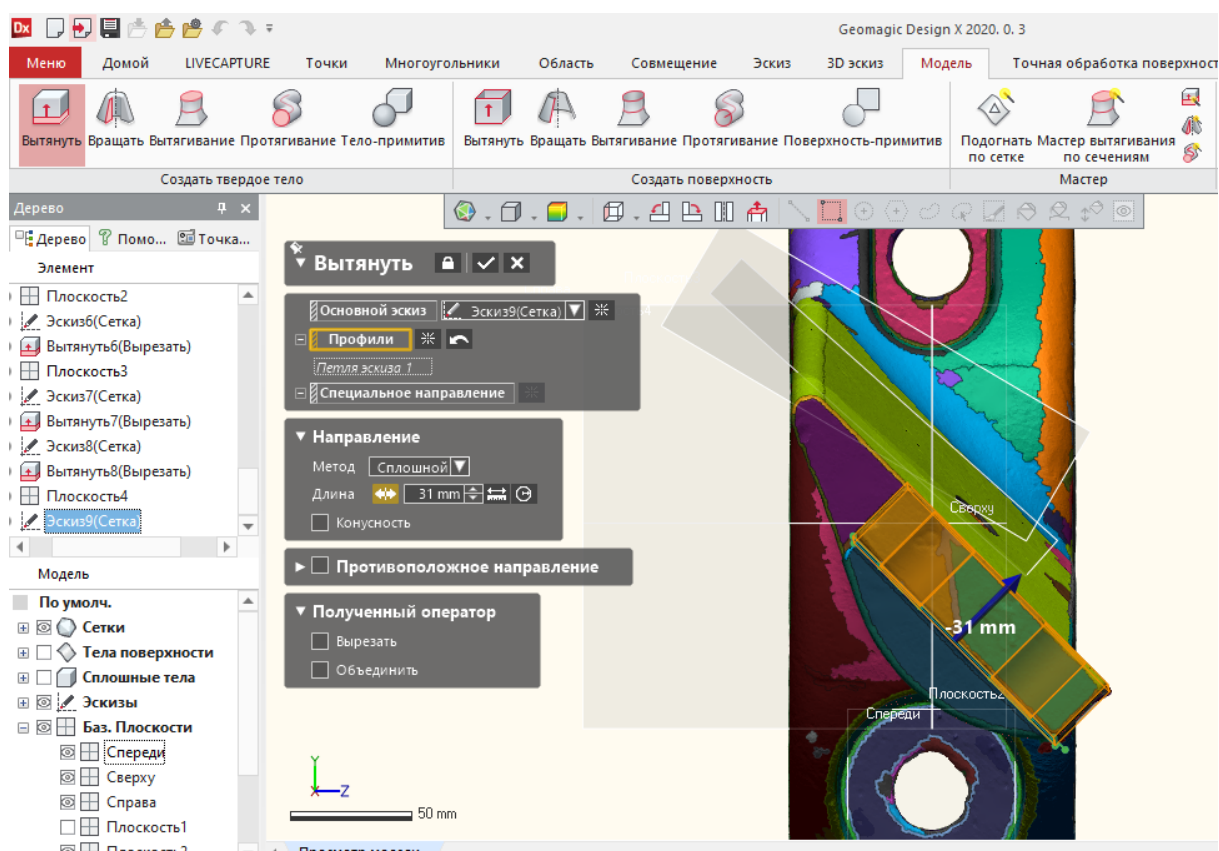


Рис. 202. Вытягиваем верхнюю часть детали

Во вкладке *Модель* вытягиваем тело до вершины. Выбираем плоскость, показанную на рис. 202. Создаем эскиз, отключаем последнее твердое тело, преобразовываем торцевую линию, принимаем. Вытягиваем поверхность. Перемещаем вытянутую поверхность в дереве выше, включив видимость поверхностей, с помощью оператора *Редактировать* удлиняем нашу поверхность во всех направлениях. Выбираем вытянутый элемент и вытягиваем сплошной. Далее нажимаем *Редактировать* / *Вырезать*, в качестве рабочего Объекта выбираем *Поверхность*, а *Тела цели* – *Твердое тело*.

Объединяем твердые тела 1 и 2 с помощью функции *Редактировать* / *Логические функции*.

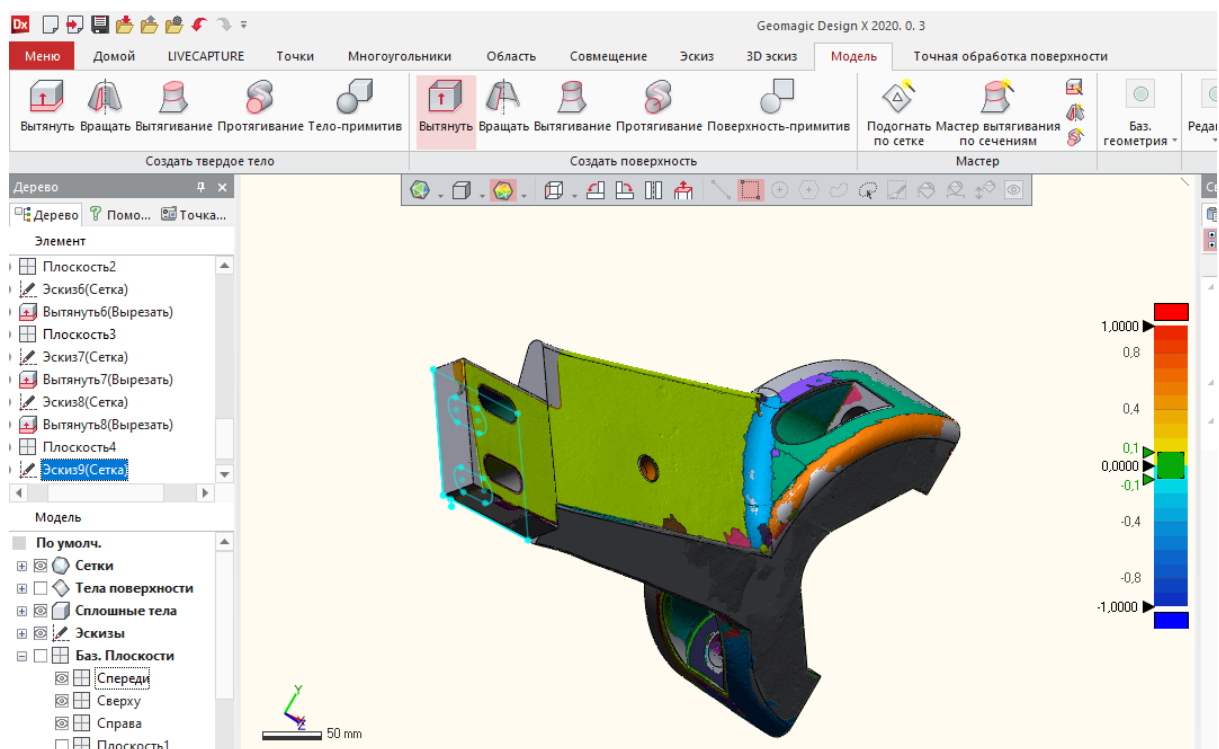


Рис. 203. Сравниваем твёрдую модель с эталоном

Самостоятельно добавляем срез, замок и добавляем скругления.

РЕВЕРС ПАТРУБКА

Поработаем с поверхностями и построим комбинированным методом патрубок. Модель не выровнена в осях координат.

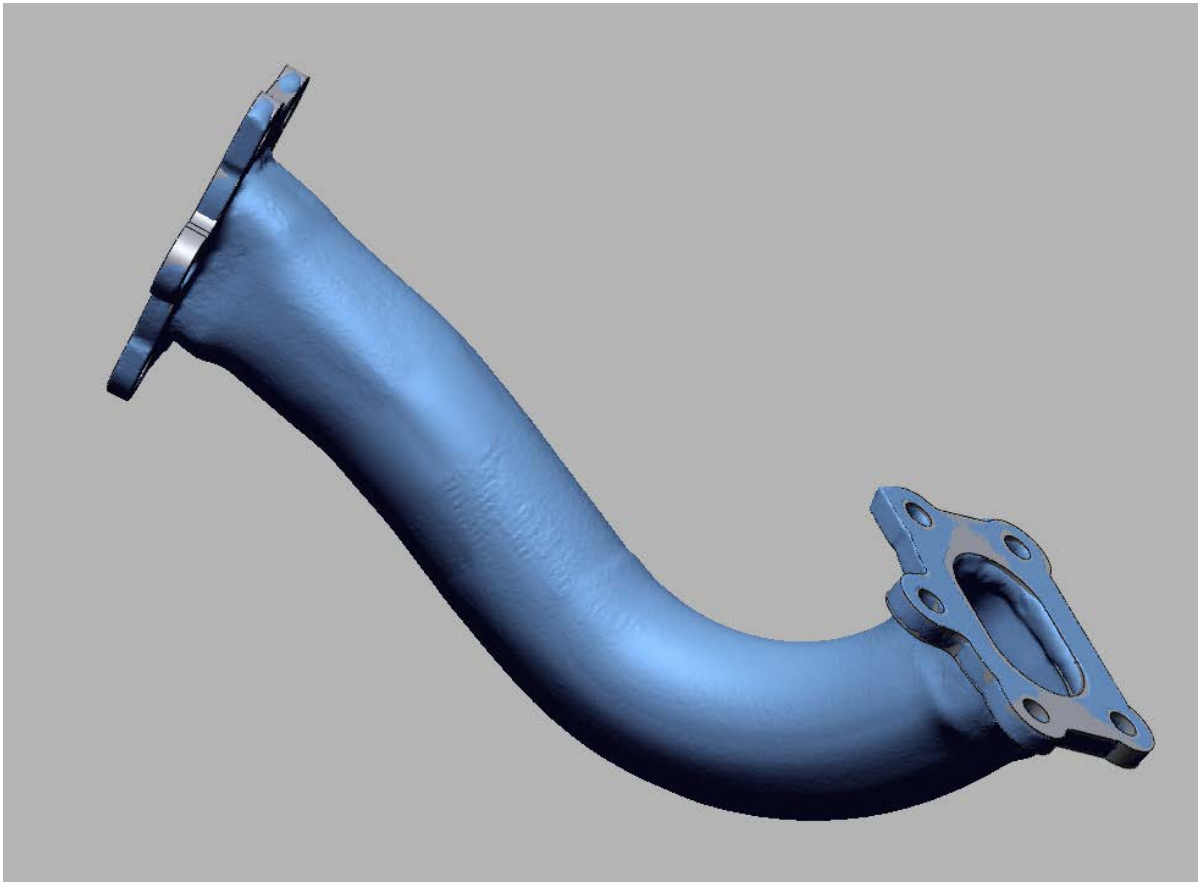


Рис. 204. Патрубок

Это несуществующей патрубок, созданный из двух частей трубы. Выравниваем модель в осях координат и строим фланцы самостоятельно. Деталь состоит из двух фланцев, гайки и деформированной трубы.

Два фланца – это копии, построенные по одному эскизу.

Отключаем твёрдые тела, выберем наш патрубок и нажмём *CTRL* + *C* и затем *CTRL* + *V*. Мы получим скопированную сетку и исходник. Отключаем видимость, берём скопированную сетку, в свойствах можно поменять цвет, чтобы было удобнее, допустим, на серый.

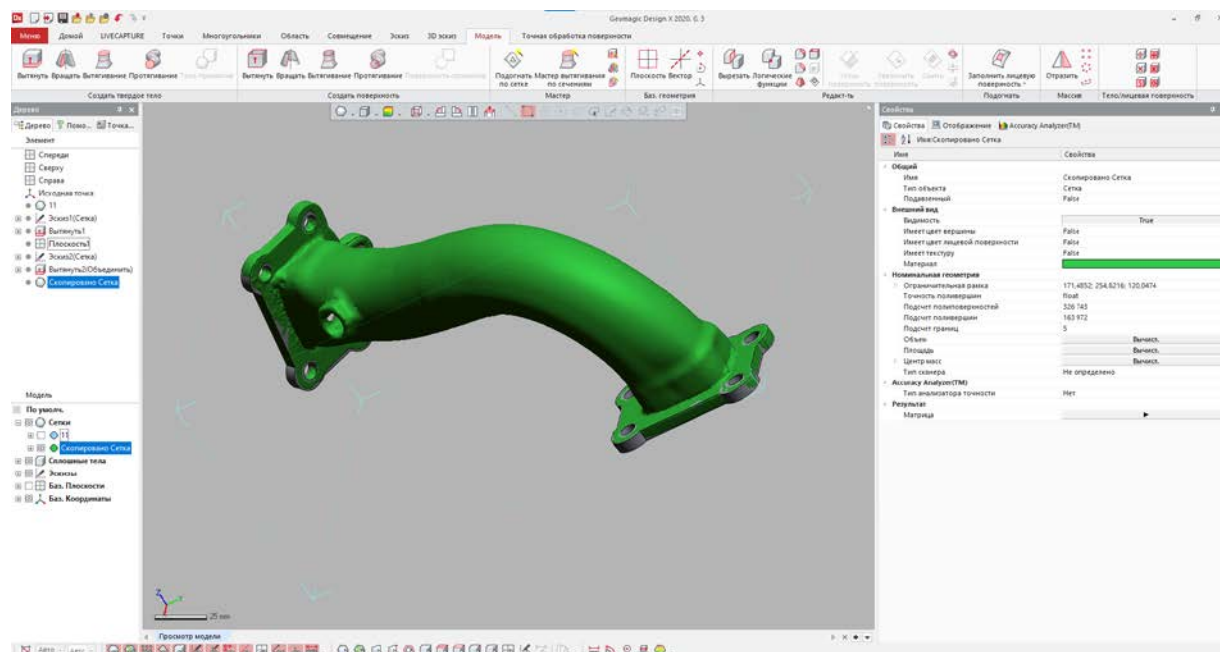


Рис. 205. Создаём копию, меняем цвет патрубка

Выравниваем, выбираем режим выделения – *Лассо* и выбираем фланцы, захватывая сварной шов.

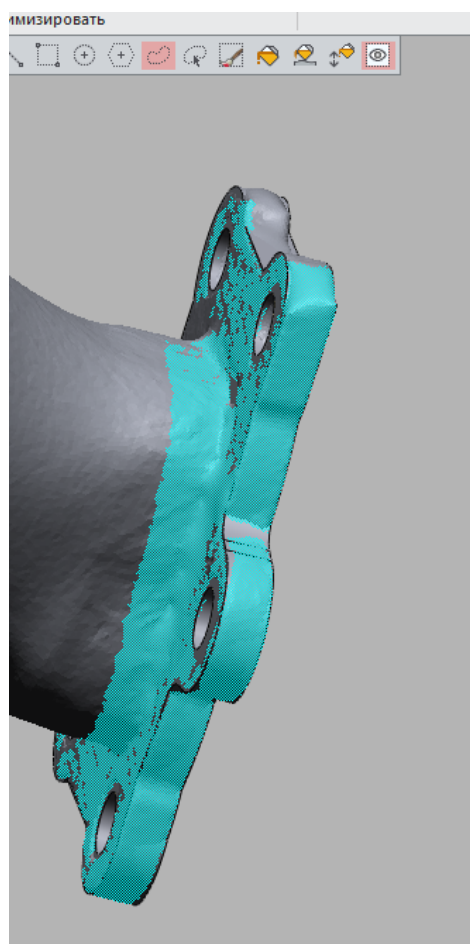


Рис. 206. Выделяем фланцы

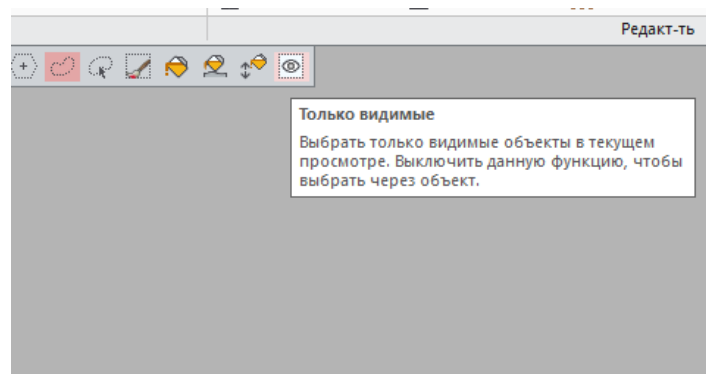


Рис. 207. Отключаем функцию *Только видимые*

Сейчас выбирается не целиком, потому что включена функция *Только видимые*, соответственно, выключаем её и ещё раз выбираем.

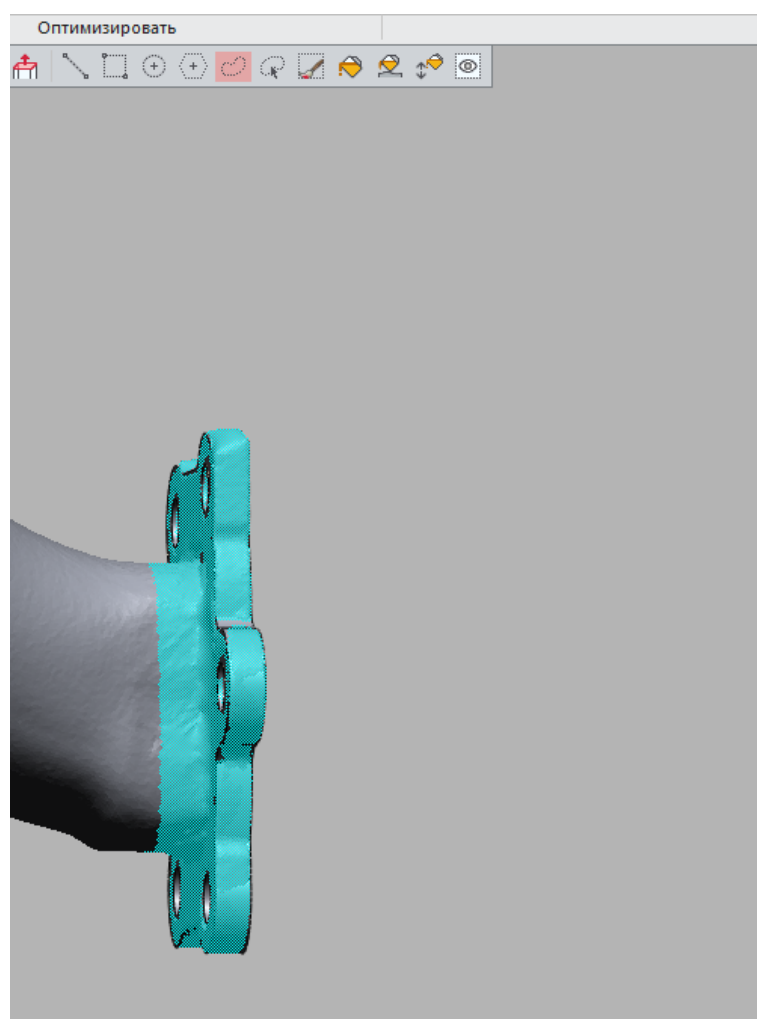


Рис. 208. Выделенный фланец

Выделяем поочерёдно фланцы и удаляем их. Удаляем неровные сварные края. Также смотрим, нет ли у нас нигде загнутых краёв, остатков сварного шва.

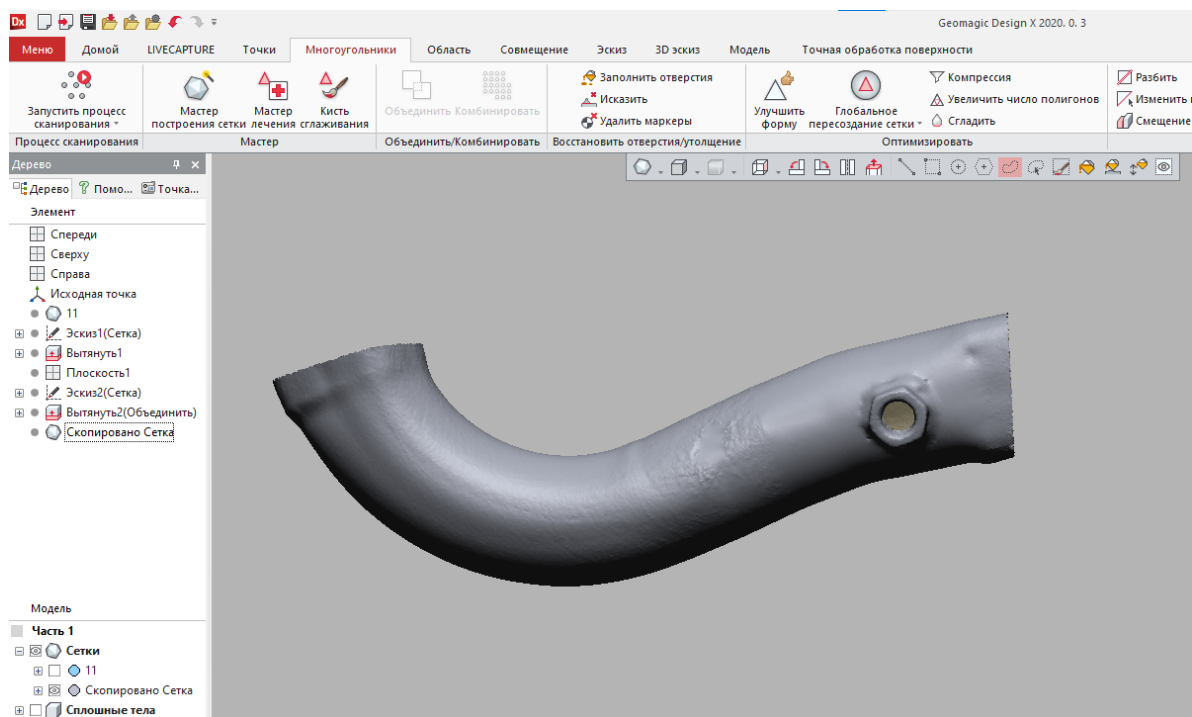


Рис. 209. Фланцы удалены

Замеряем толщину стенки трубы, для этого воспользуемся инструментом *Измерение расстояния*. Выбираем совмещение по оси Y. Толщина трубы – 1,5 мм.

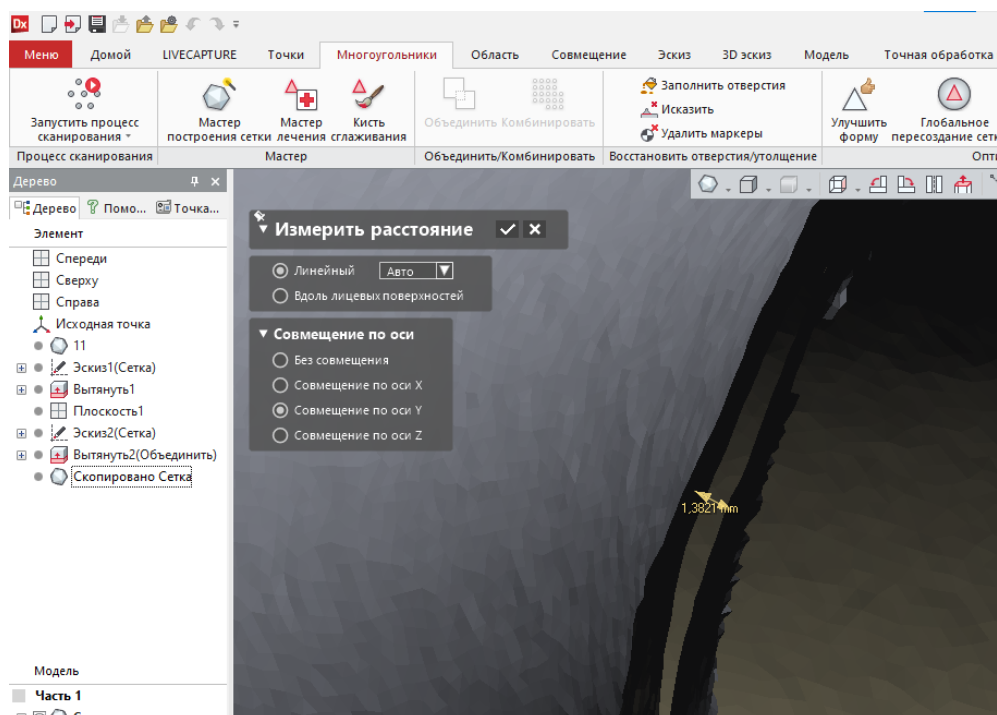


Рис. 210. Измеряем расстояние

Если мы нажмём *Применить*, измеренный размер у нас останется, отключить его можно в дереве или внизу в меню. Здесь же его можно удалить, если он не нужен, но можно оставить, просто погасим его.

Воспользуемся инструментом *Умный выбор*. Нажимаем левую кнопку мыши и не отпускаем её, соответственно, если будем двигать её вниз или вверх, она будет перемещать выбор по всем соседним треугольникам.

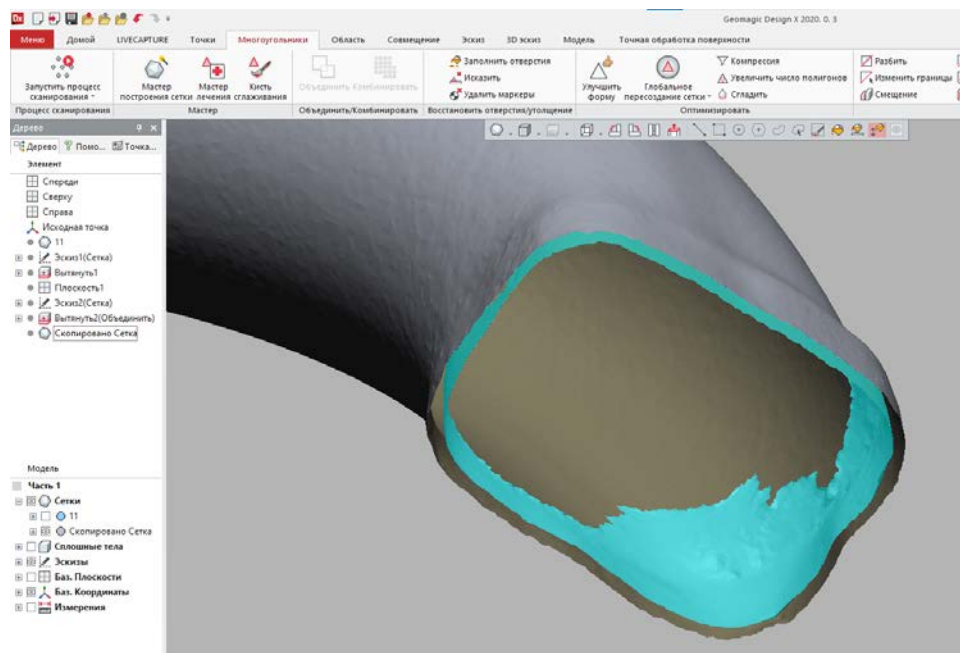


Рис. 211. Лишние части фланца (голубой цвет)

Так как у нас фланец отрезан и это кусочки несоприкасающейся сетки, то мы можем их удалить нажатием кнопки *Delete*.

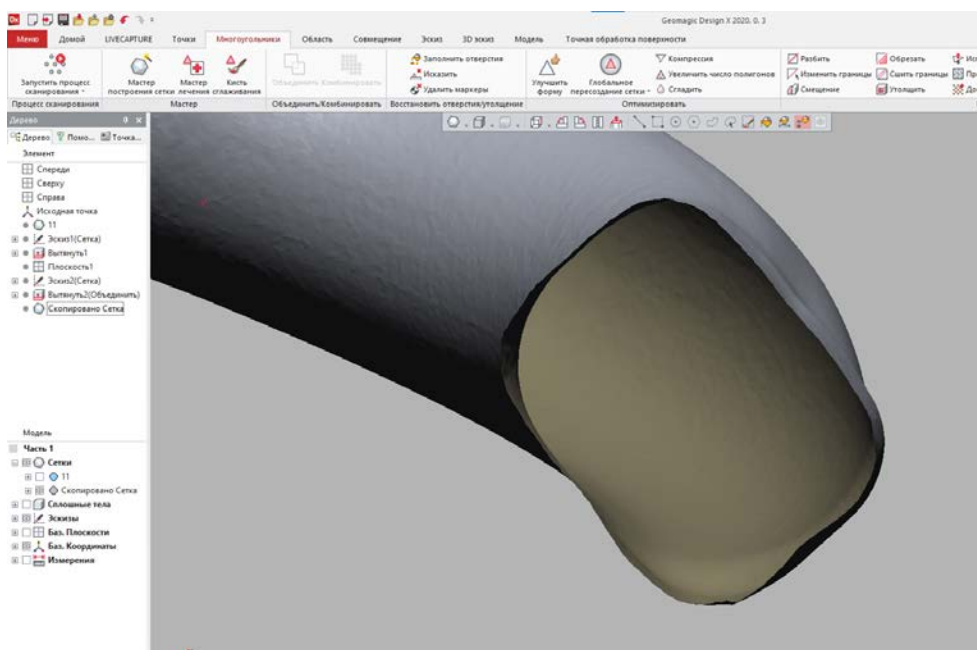


Рис. 212. Очищенный фланец

Повторяем это с другой стороны.

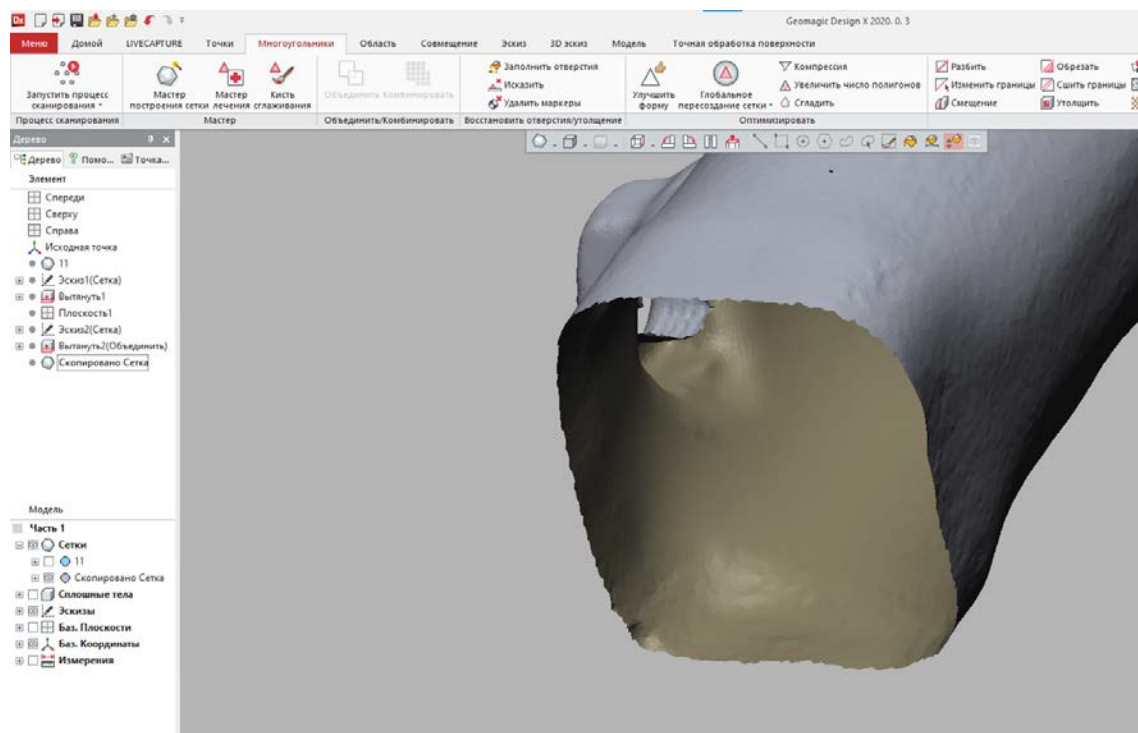


Рис. 213. Убираем фланец с другой стороны

Также удалим гайку, она нам сейчас не нужна, воспользуемся инструментом *Пользовательская область / Подтвердить* правой кнопкой мыши, и тут можно обратить полигональную поверхность.

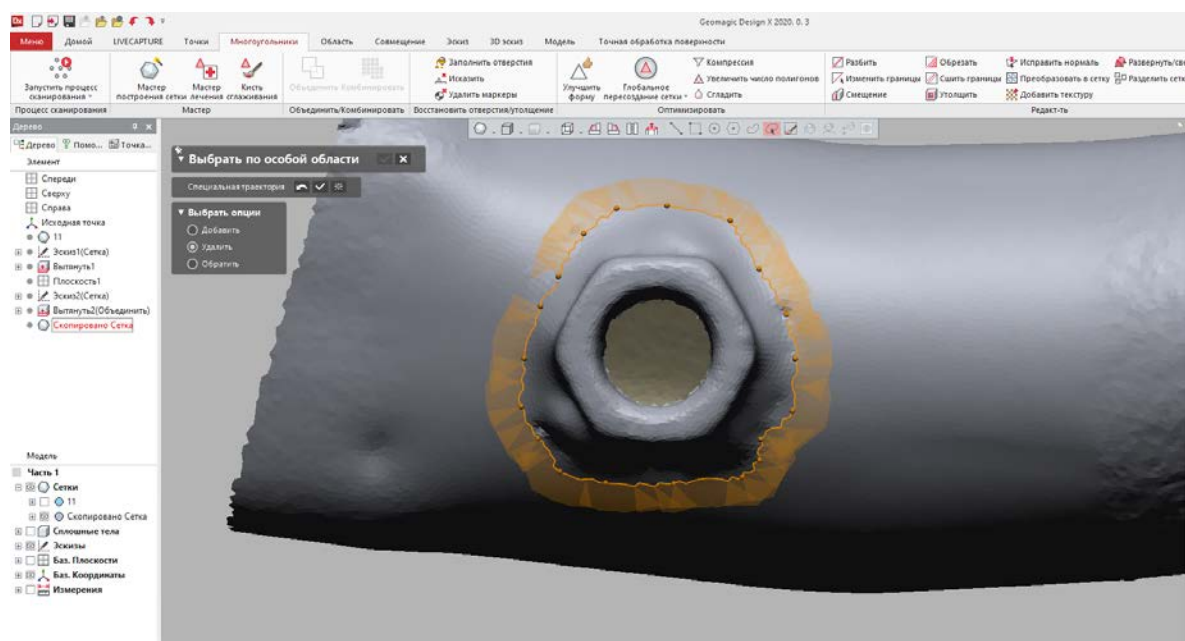


Рис. 214. Удаление гайки

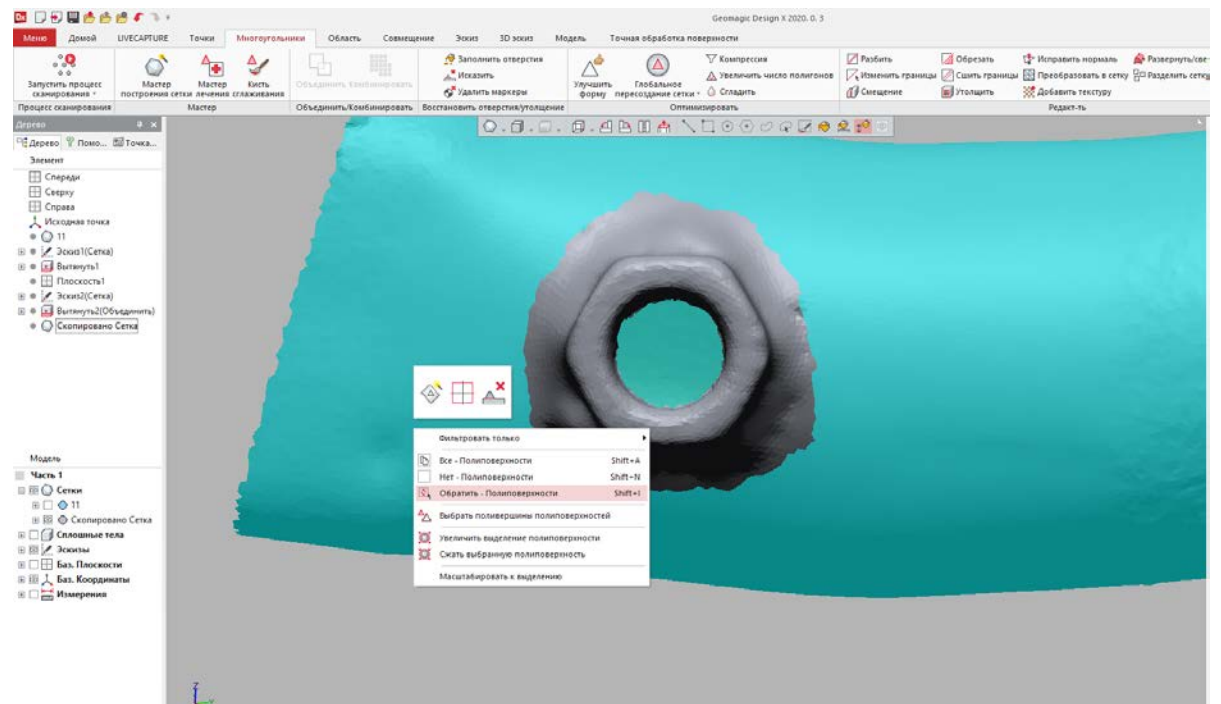


Рис. 215. Обрезка гайки

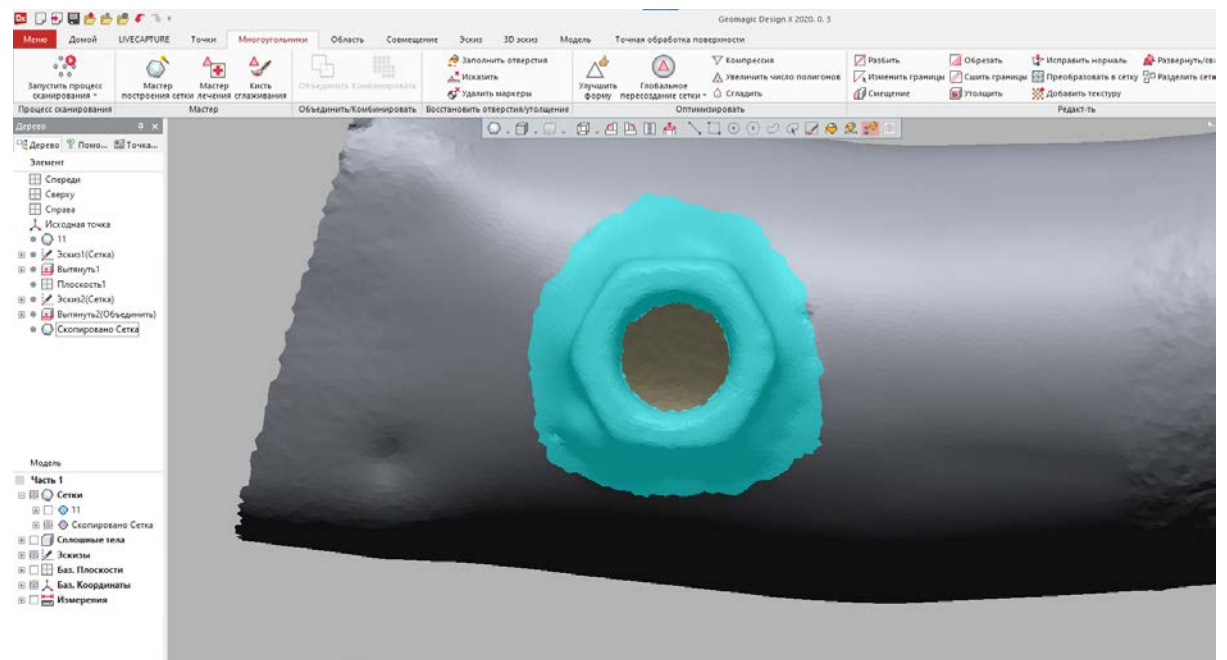


Рис. 216. Обращение поверхности

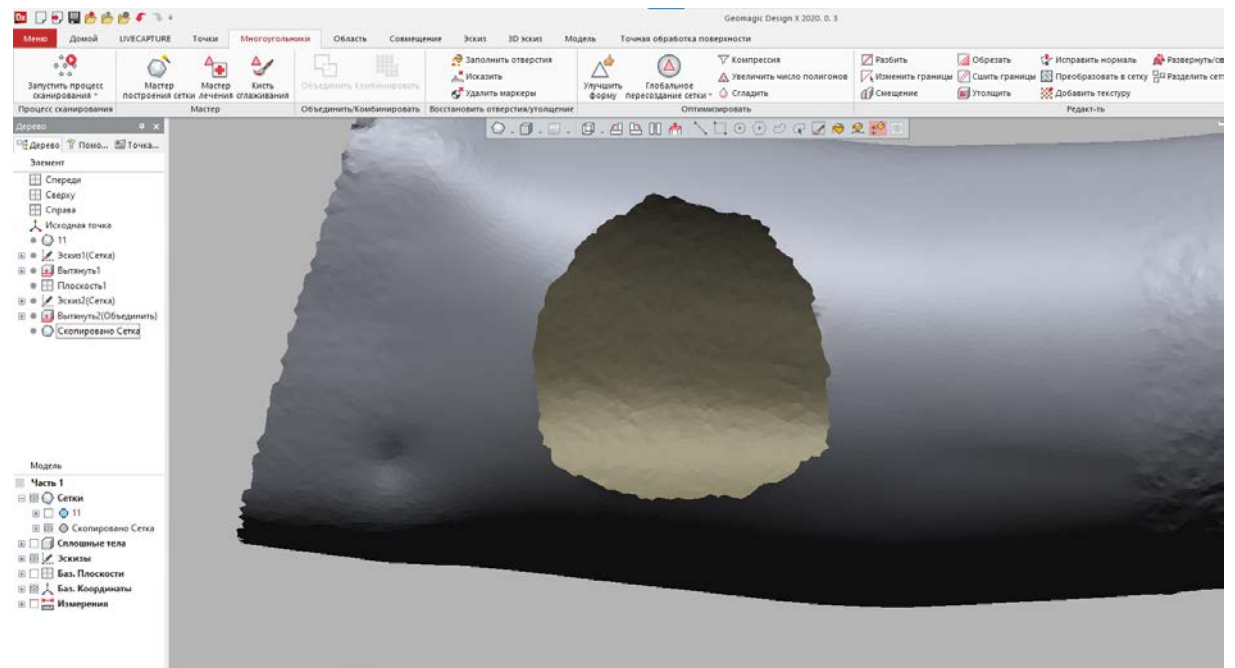


Рис. 217. Гайка убрана

Снова выбираем лишние элементы и тоже удаляем. Теперь переходим во вкладку *Многоугольники / Заполнить отверстия*, выбираем отверстие *По кривизне*, применяем.

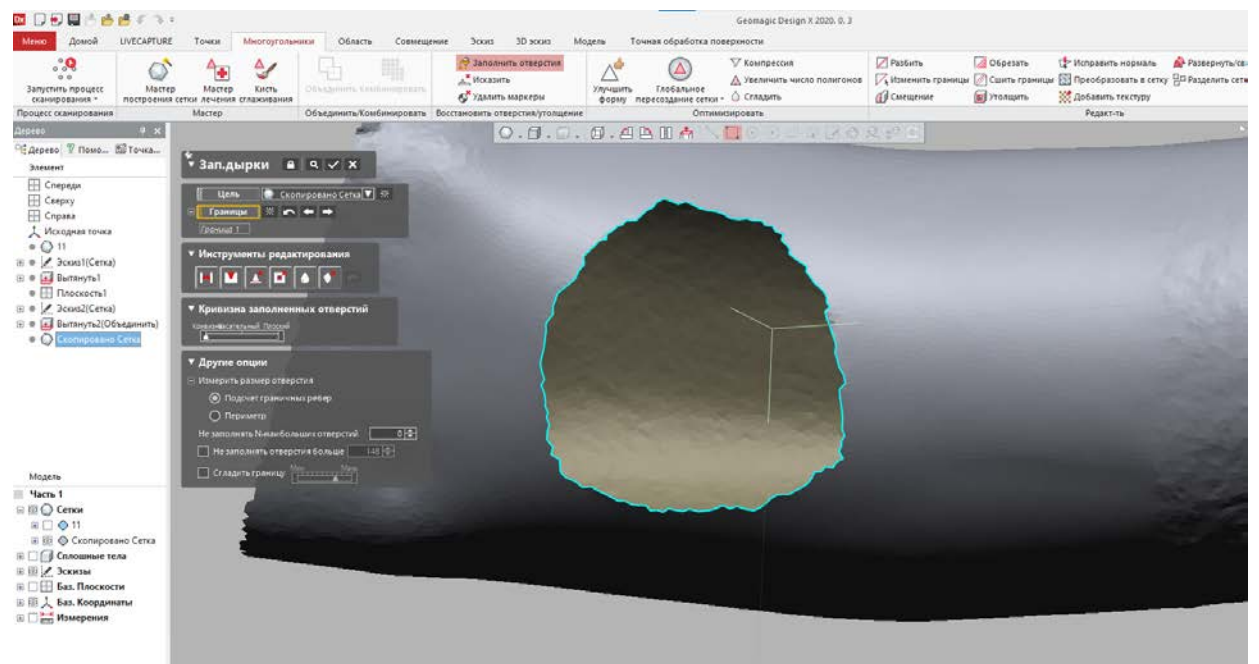


Рис. 218. Заполнение отверстия

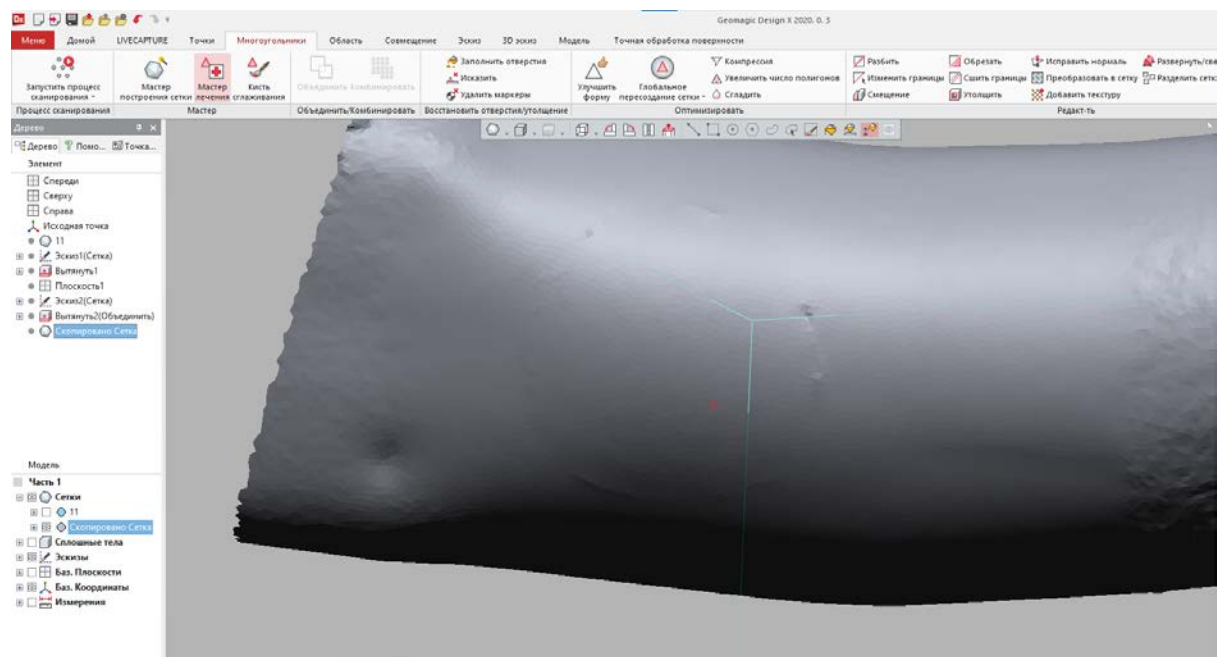


Рис. 219. Мастер лечения

Включим твёрдые тела, первым делом нам нужно выровнять границу, так как мы будем работать с поверхностями, нам такая рваная граница не подходит для работы. Чтобы выровнять границу, переходим во вкладку *Многоугольники / Изменить границы*. Здесь в *Редактировать / Изменить границы* выбираем нашу границу до *Метод до плоскости / Плоскость / Применить*. И вот наша сетка вытянулась до нашего фланца. Повторим с обратной стороны то же самое.

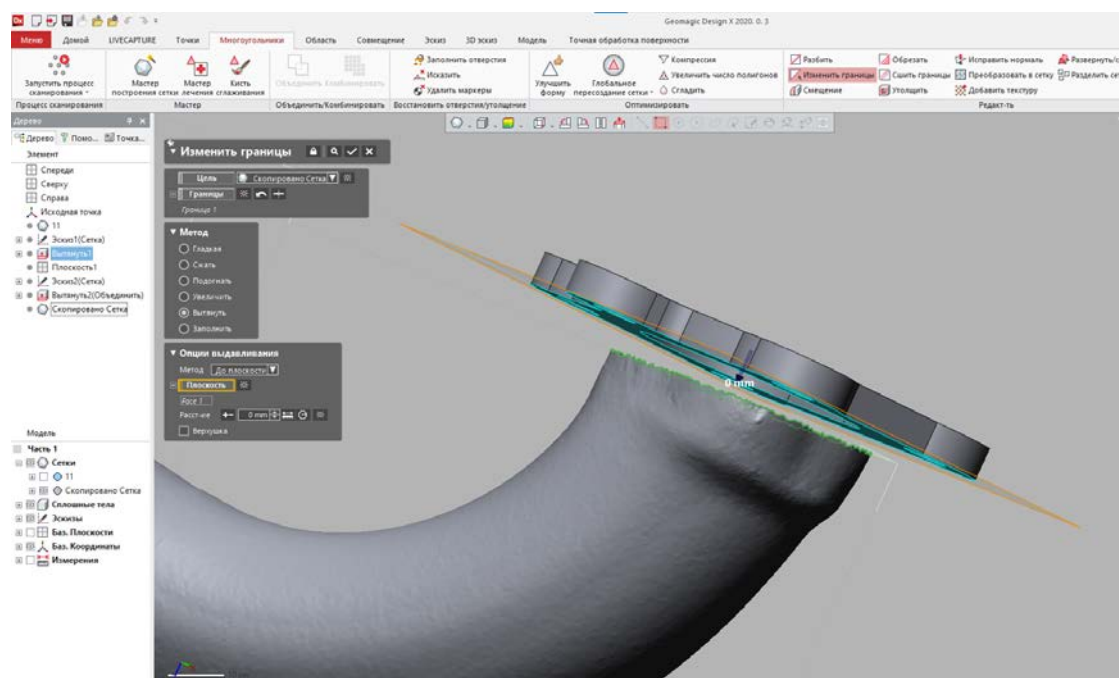


Рис. 220. Удлиняем поверхность патрубка до фланца

Отключим твёрдые тела, выравниваем модель, переходим во вкладку *3D-эскиз*, затем *Эскиз по сетке*. Построим сечение.

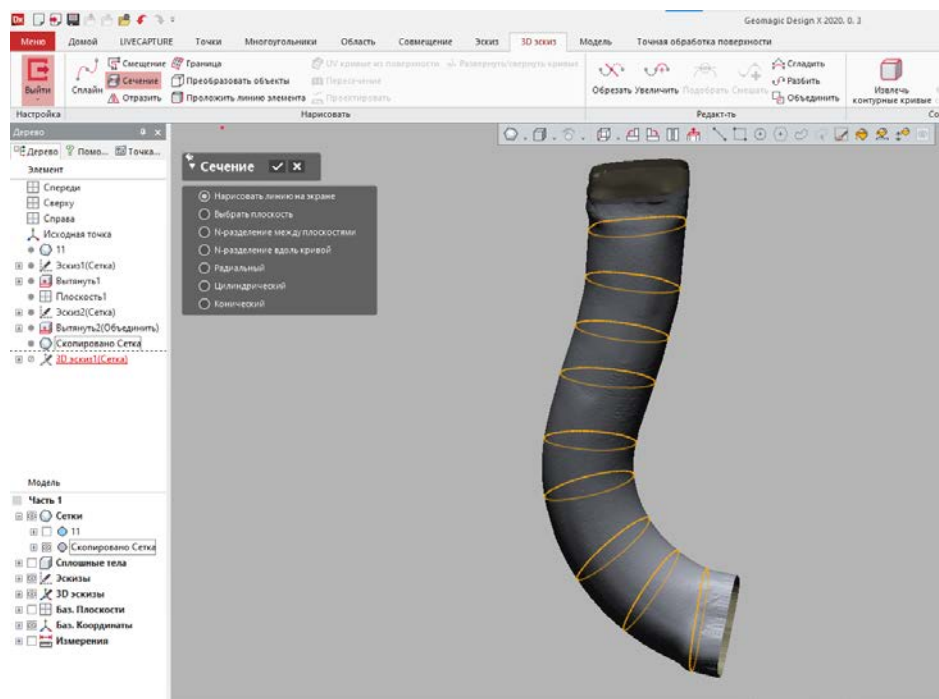


Рис. 221. Создаём сечения

Теперь нам нужно воспользоваться инструментом *Граница*, так как наше сечение не доходит до конца. *Извлечь кривые из границ сетки / Применить / Выбираем границу.*

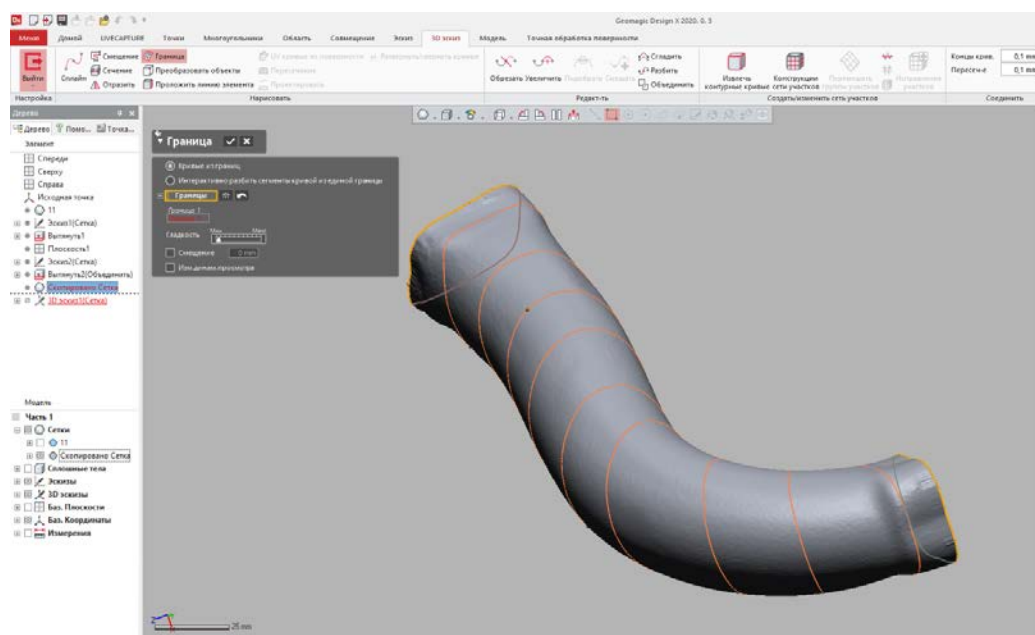


Рис. 222. Граница

Мы могли бы создать ещё сечение по вертикали. Воспользуемся сплайном, *Сплайн на сетке* – разбиваем по углу сгиба, соединяем в точках пересечения. И вручную строим 3D-эскиз по сетке.

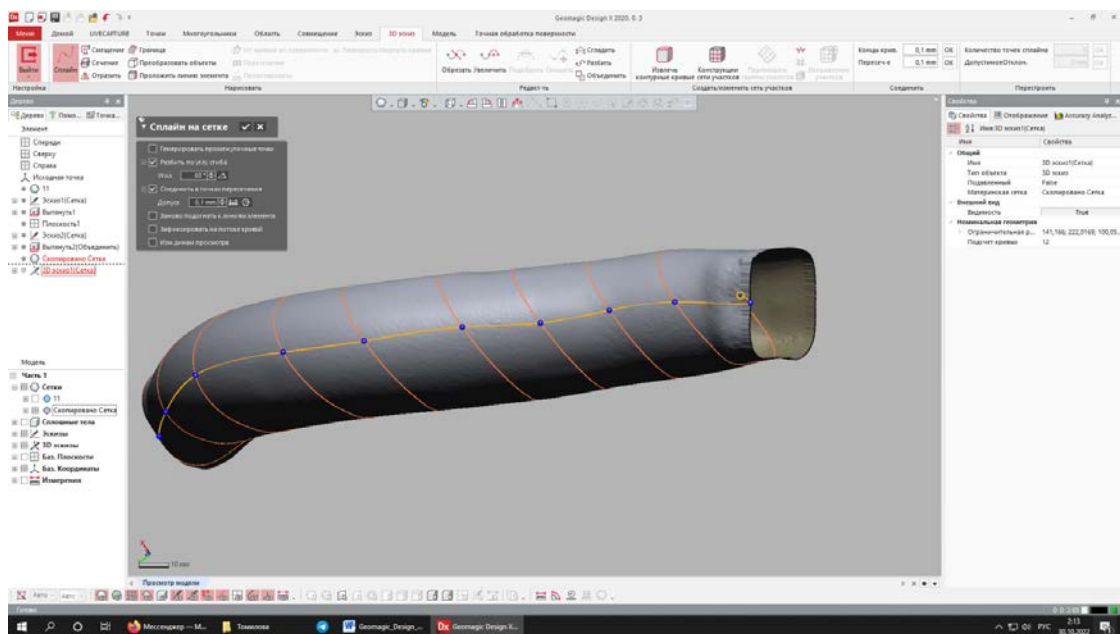


Рис. 223. Построение 3D-эскиза по сетке

Строим эскиз с обратной стороны.

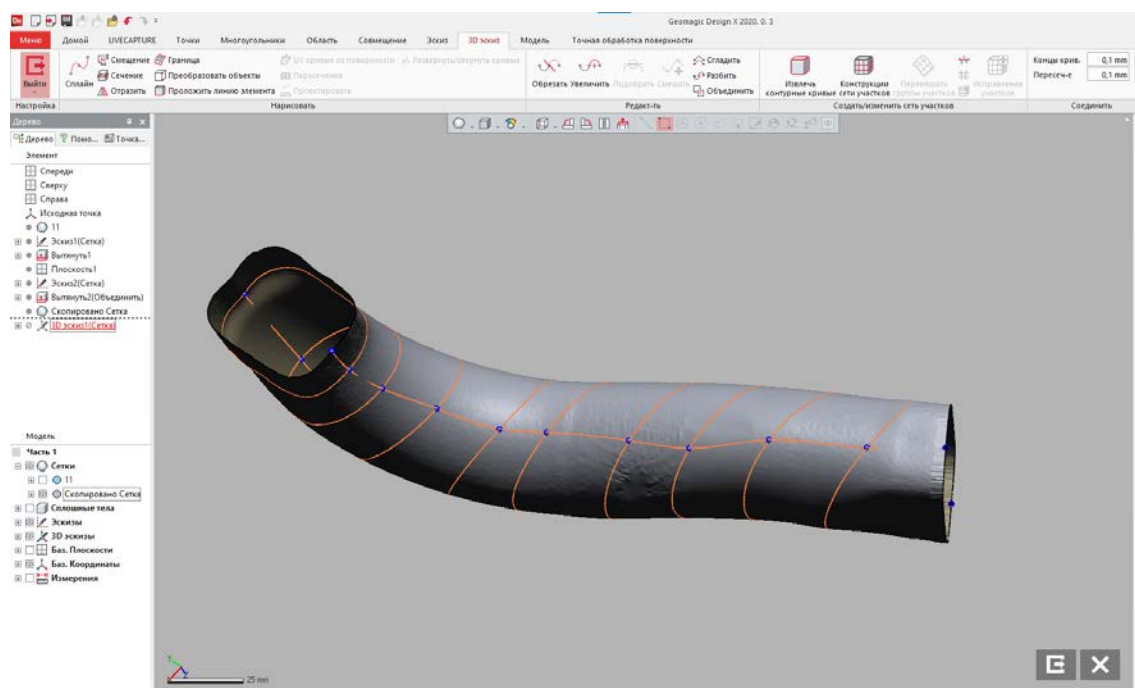


Рис. 224. Повторное построение 3D-эскиза по сетке

Отключаем сетку. Полученный 3D-эскиз можно посмотреть на рис. 224. Ещё необходимо его разбить. Заходим в 3D-эскиз, выбираем все построенные кривые *Разбить кривые в точках пересечения / Принять*.

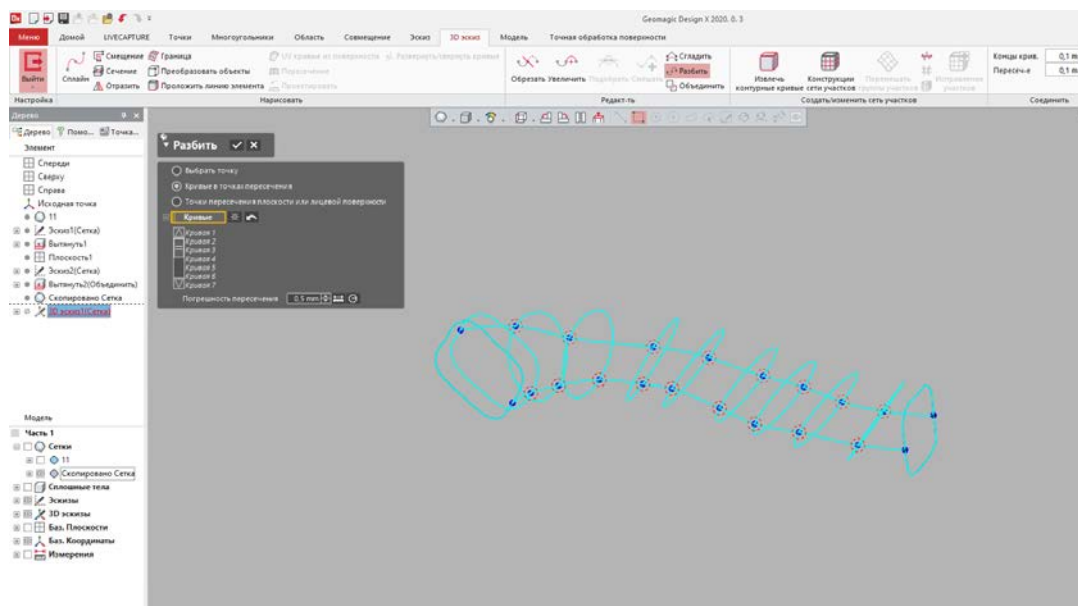


Рис. 225. 3D-эскиз

Обратите внимание: все элементы у нас оранжевые, а если были бы синие, значит, там какие-то проблемы, скорее всего, там не замыкается наш эскиз и надо либо перестроить вручную, либо дотянуть один участок до другого.

Выходим из 3D-эскиза и переходим во вкладку *Точная обработка поверхности / Подогнуть поверхность / Подогнуть участки поверхности*, поставим допуск 0,06, *Применить*. Таким образом, мы построили поверхность.

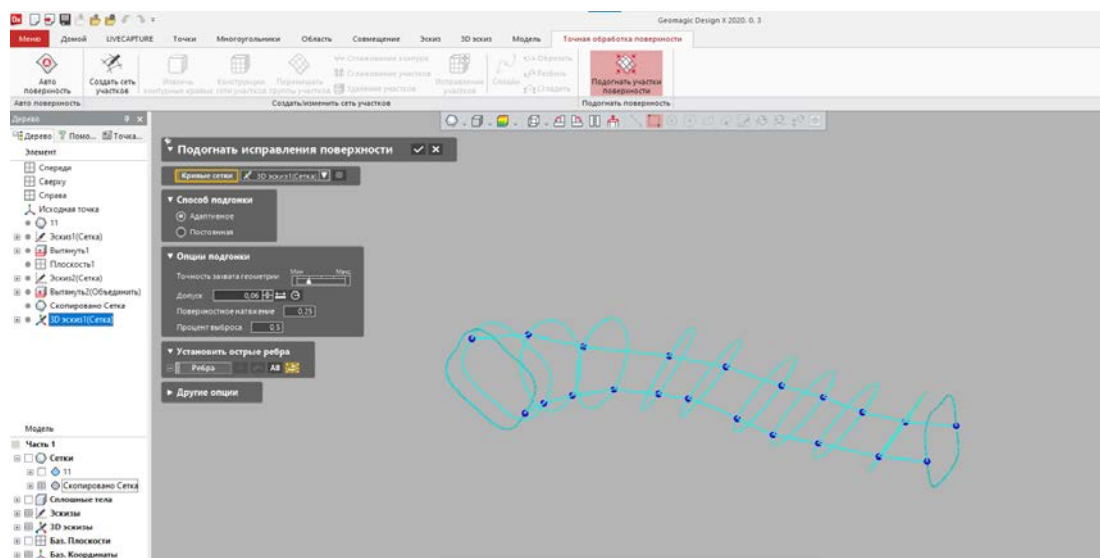


Рис. 226. Подгонка и исправление поверхностей

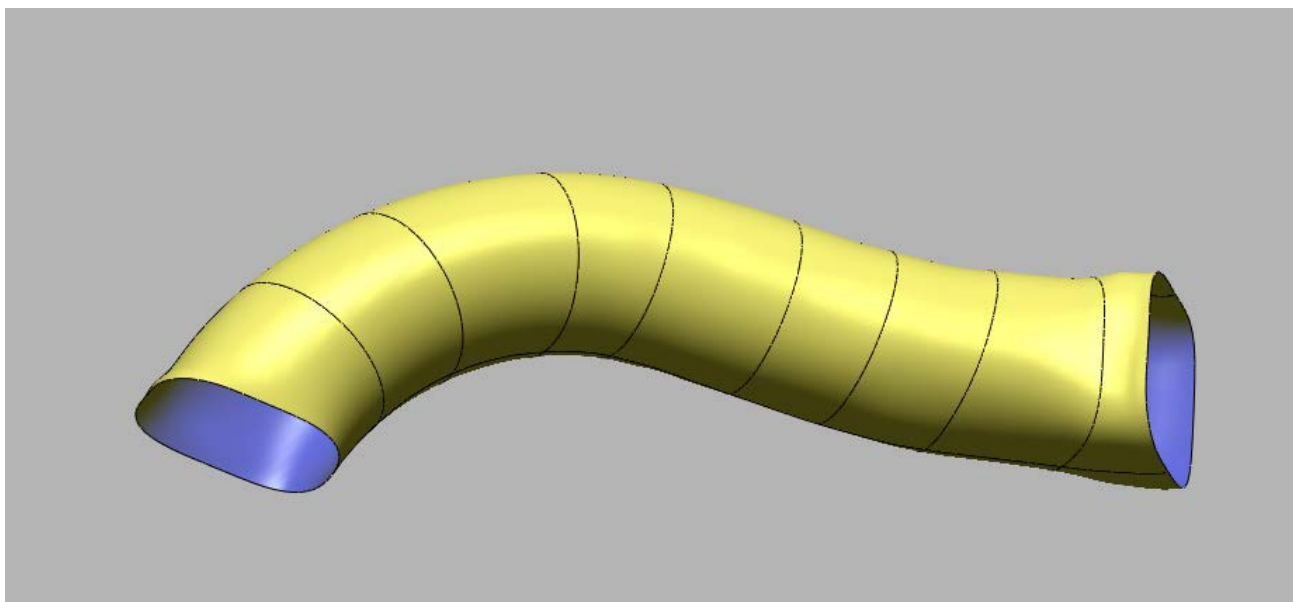


Рис. 227. Сформированная новая поверхность патрубка

Дальше мы можем отключить 3D-эскиз, чтобы он не мешал восприятию. Нам нужно создать замкнутый объём, для этого во вкладке *Модель / Подогнать»* *Заполнить лицевую поверхность* выбираем *Границы* и нажимаем *Применить*.

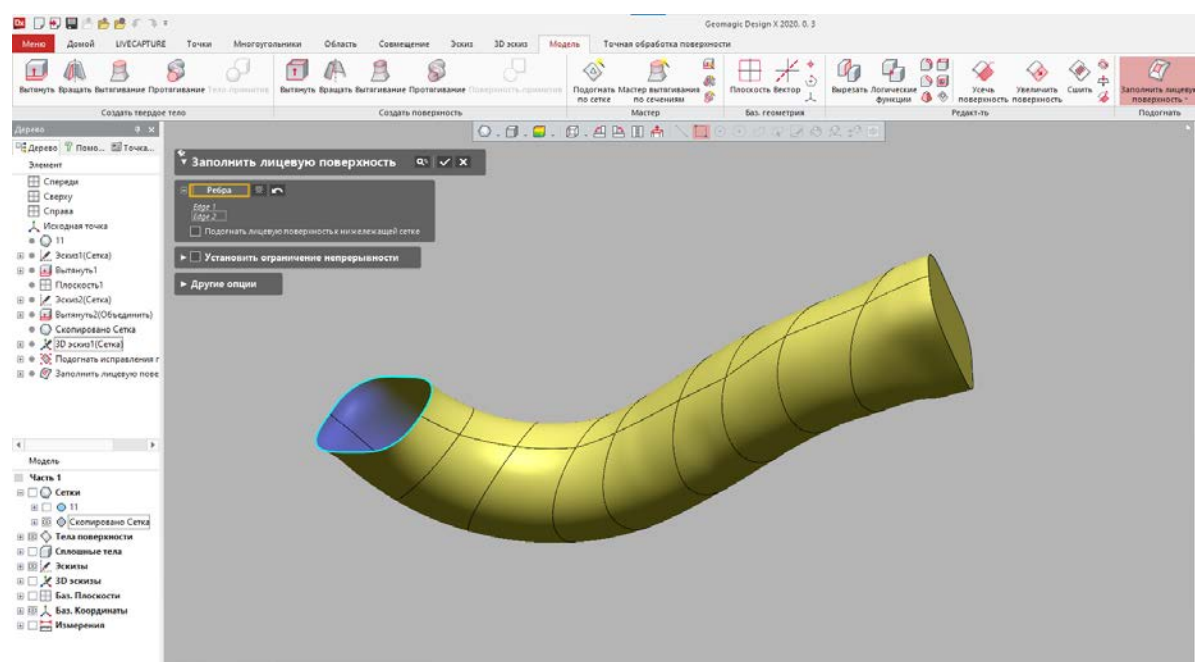


Рис. 228. Сформированный патрубок

Если всё сделано правильно, у вас получится замкнутый со всех сторон объём, после этого воспользуемся функцией *Отвердить*. Она находится в *Меню/ Вставить / Поверхность / Отвердить»*. Её можно добавить в верхнюю панель инструментов.

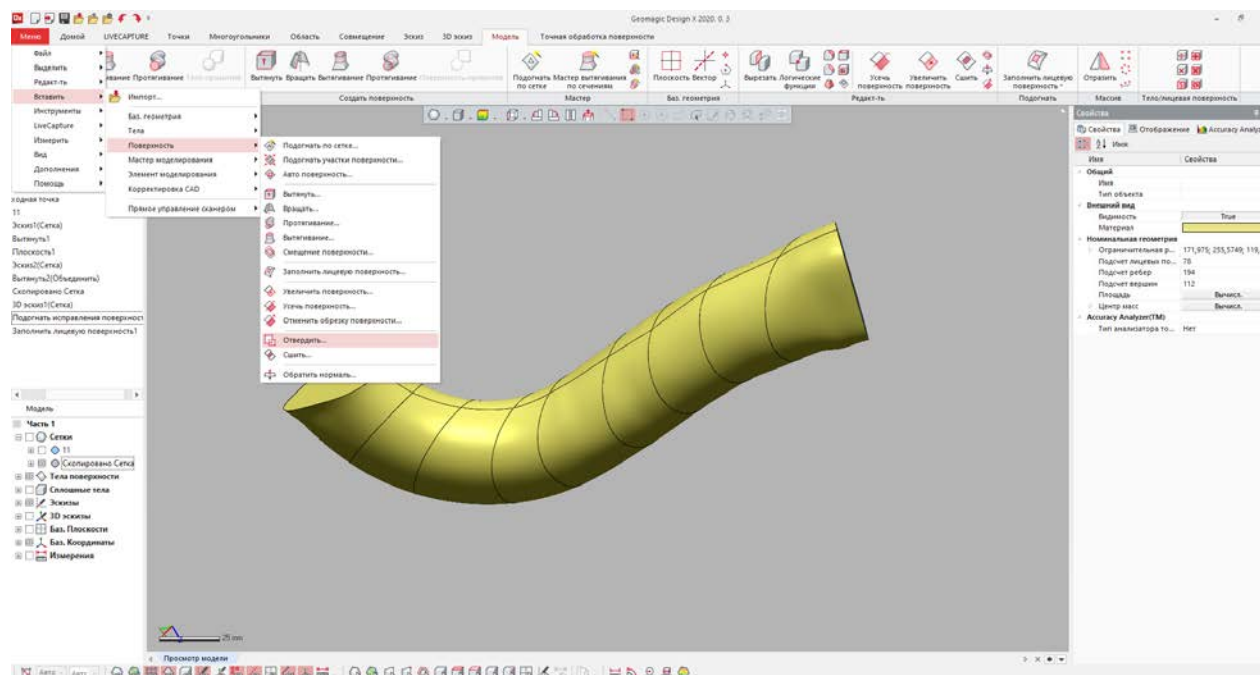


Рис. 229. Отверждаем поверхность

Для того как добавлять сюда кнопки, надо посмотреть один из первых уроков по интерфейсу программы. Нажимаем кнопку *Отвердить* и выбираем три поверхность, по окончании выбора нажимаем *Применить*.

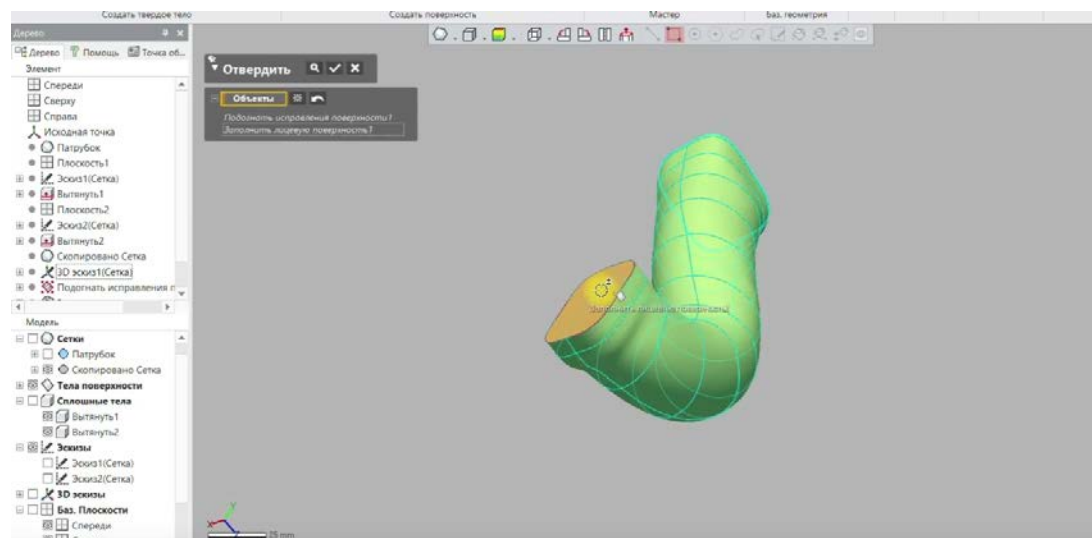


Рис. 230. Отверждение

Включаем видимость твёрдых тел и видим почти готовый патрубок, за исключением отверстия во фланцах.

Но если мы отключим видимость фланцев, то увидим, что патрубок представляет из себя твёрдое тело, а нам нужно задать толщину его стенки 1,5 мм. Итак, переходим во вкладку *Редактировать*, во вкладке *Модель* вкладка *Редактировать / Оболочка* выбираем *Твёрдое тело*, задаём толщину стенки и выбираем лицевые поверхности, которые нам нужно удалить. Удаляем. На рис. 230 показана деформированная труба с толщиной стенки 1,5 мм.

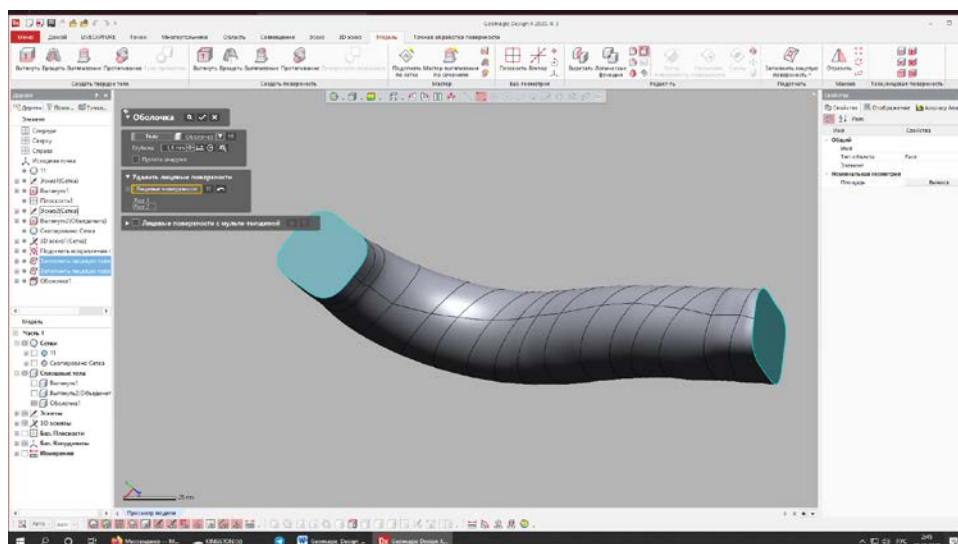


Рис. 231. Отверждённая поверхность

Далее включаем один фланец, выбираем плоскость, переходим во вкладку *Эскиз*. Выключаем *Твёрдое тело*, функция *Преобразовать объекты* и внутреннюю границу нашей трубы преобразуем на плоскость нашего эскиза. Выходим во вкладку *Модель* / *Вытянуть* / оператор *Вырезать* и в противоположную сторону, так как толщина фланца 6 мм, то мы в противоположную сторону вырезаем, *Применить*. С другой стороны повторяем вышеуказанные операции.

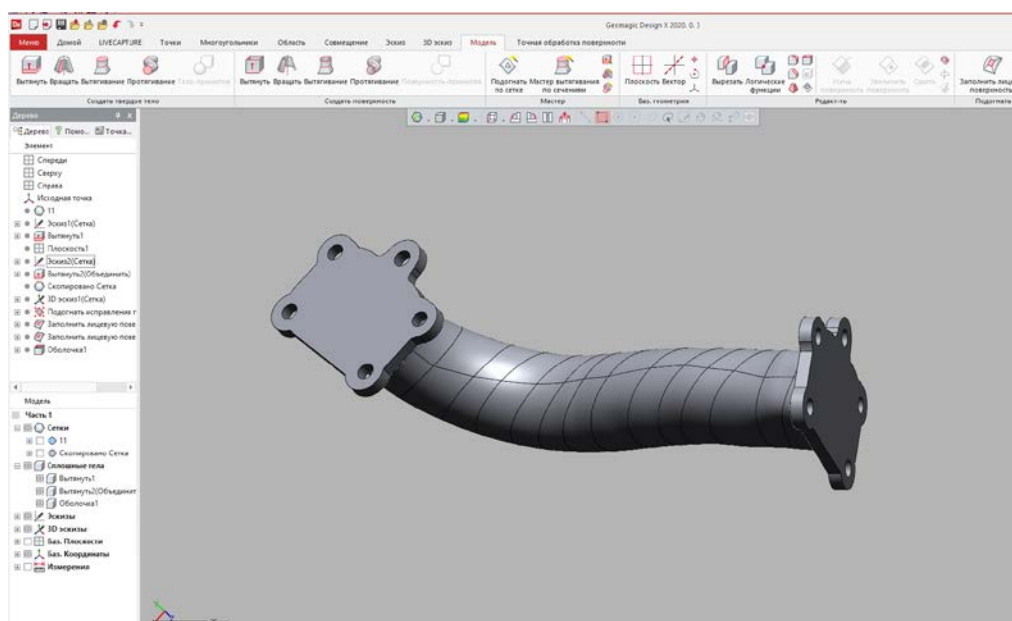


Рис. 232. Соединяем тело патрубка с фланцами

В результате мы получили три независимых твёрдых тела.

Если же мы хотим сделать нашу модель одним твёрдым телом, то во вкладке *Модель* / *Редактировать* / *Логические функции*, они же *Булевы операции* и соответственно операция *Объединить*, выбираем с зажатым *CTRL* все три тела и нажимаем *применить*. Теперь у нас одно тело.

РАБОТА С ТРУБАМИ. РЕВЕРС ЧАСТИ ДАУНПАЙПА VW SIROCCO

Загружаем модель 12 и выравниваем в осях координат.

Модель / Плоскость / Метод Извлечь / Функция Растянуть на подобные и нажимаем на фланец.

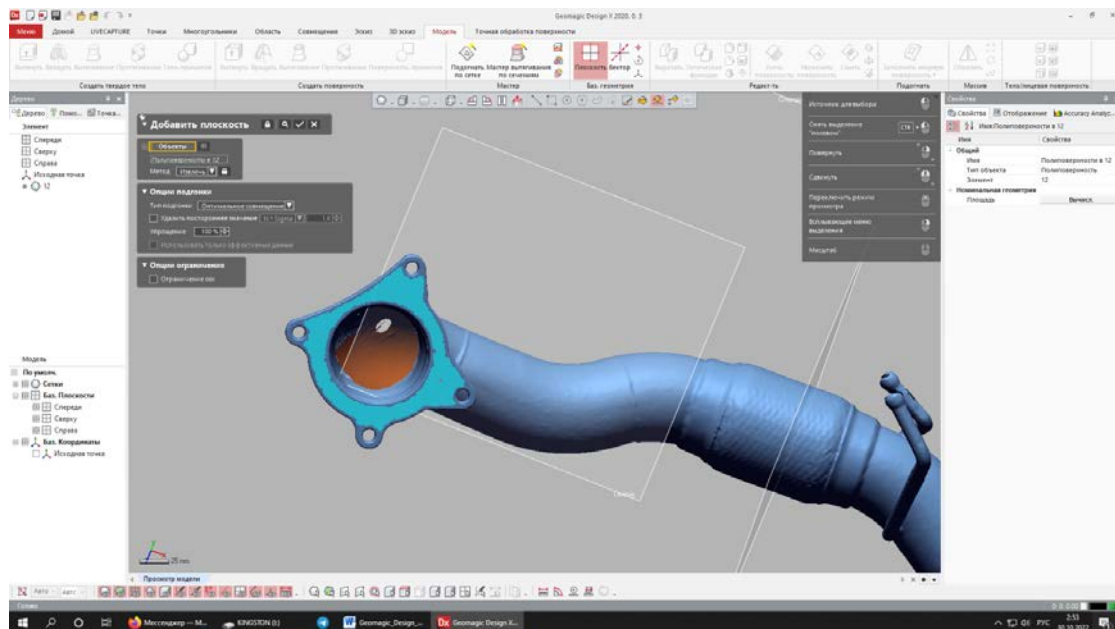


Рис. 233. Извлекаем плоскость

Далее *Кистью* выбираем внутреннюю поверхность фланца, нажимаем *Вектор* и методом *Найти ось цилиндра* строим ось.

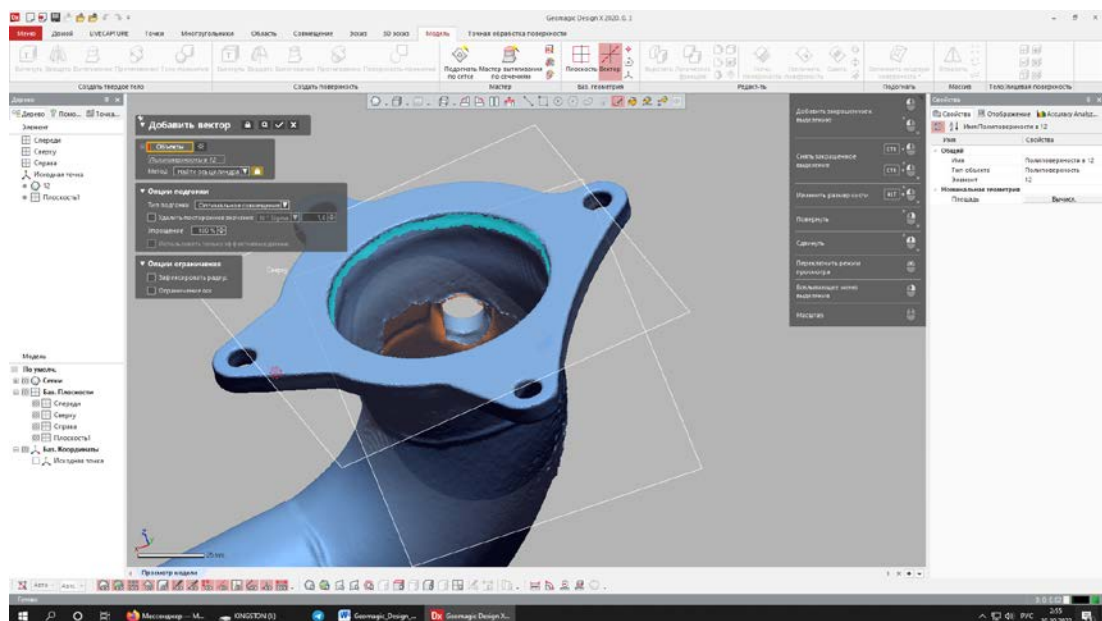


Рис. 234. Создаём вектор вращения

Строим точку на пересечении плоскости и вектора.

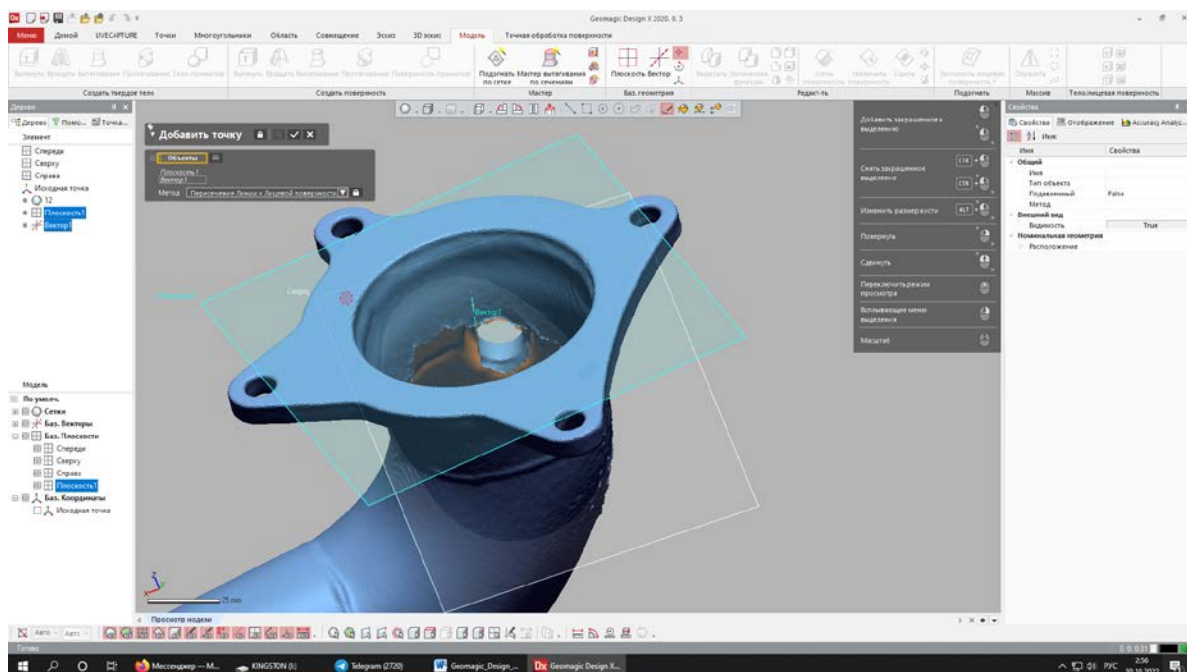


Рис. 235. Добавляем точку

Во вкладке *Совмещение* выбираем *Интерактивное выравнивание*, в параметрах перемещаемых объектов выбираем: плоскость, вектор и точку.

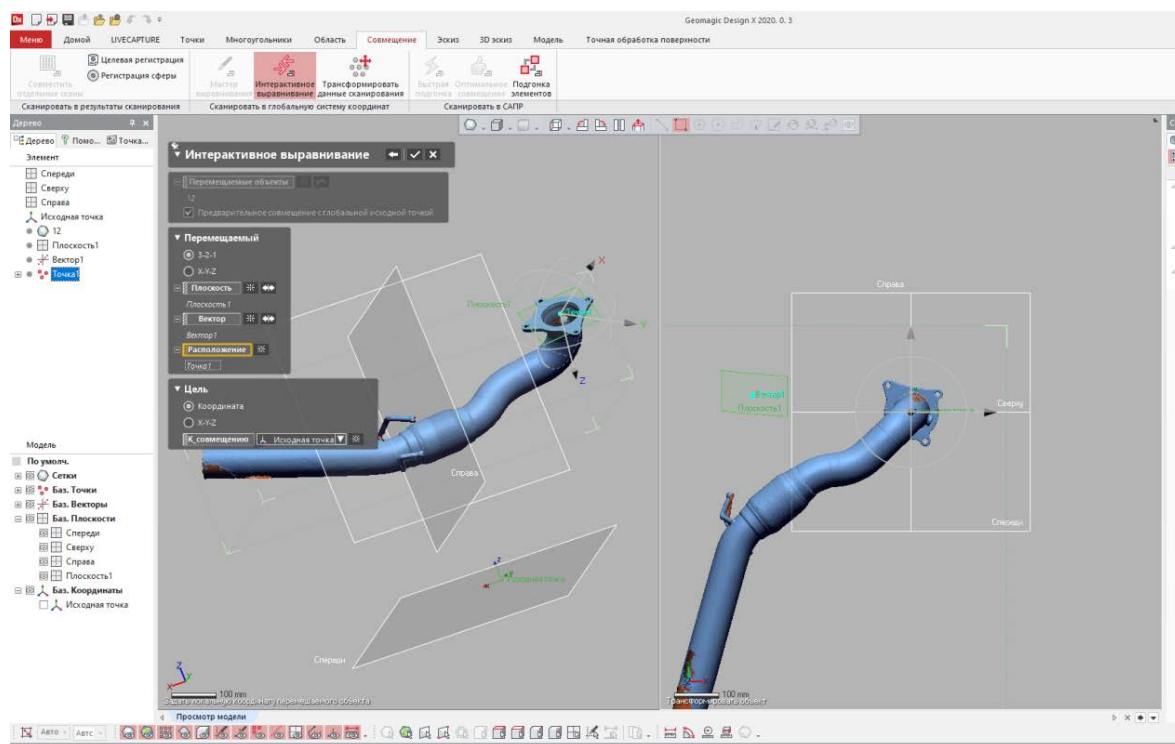


Рис. 236. Создаём базовые плоскости

Удаляем дополнительную геометрию.

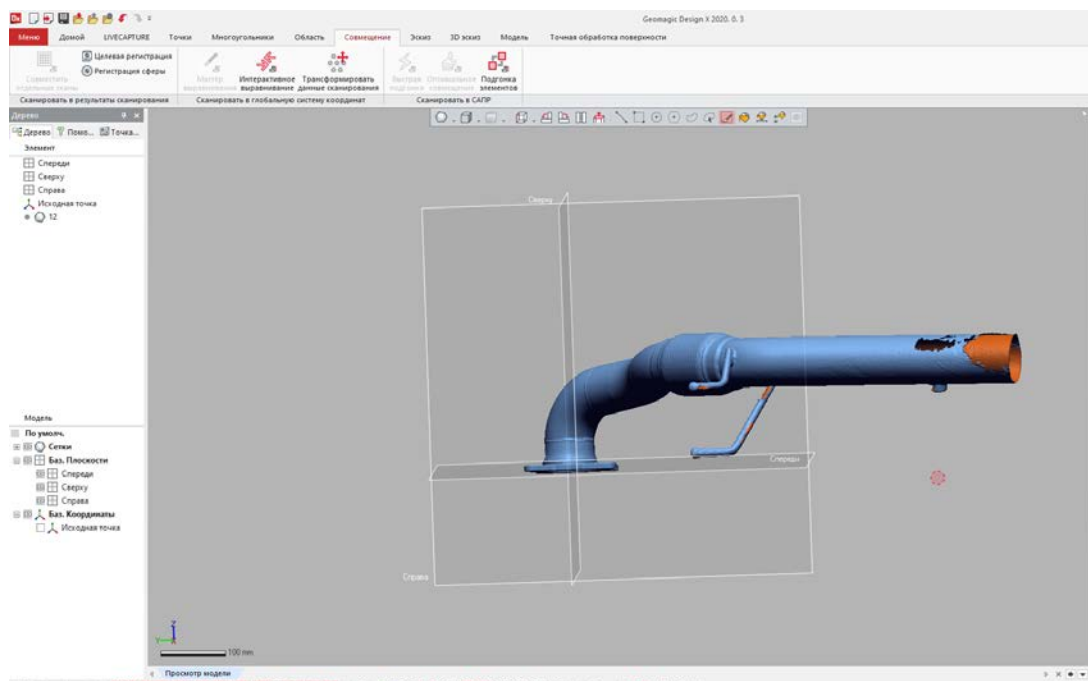


Рис. 237. Без дополнительной геометрии

Строим начало и конец нашей трубы. Выбираем плоскость *Спереди / Эскиз по сетке* уменьшаем область так, чтобы в нее попадал только фланец, смещаем плоскость, в которой будет выбираться эскиз на 1,5 мм.

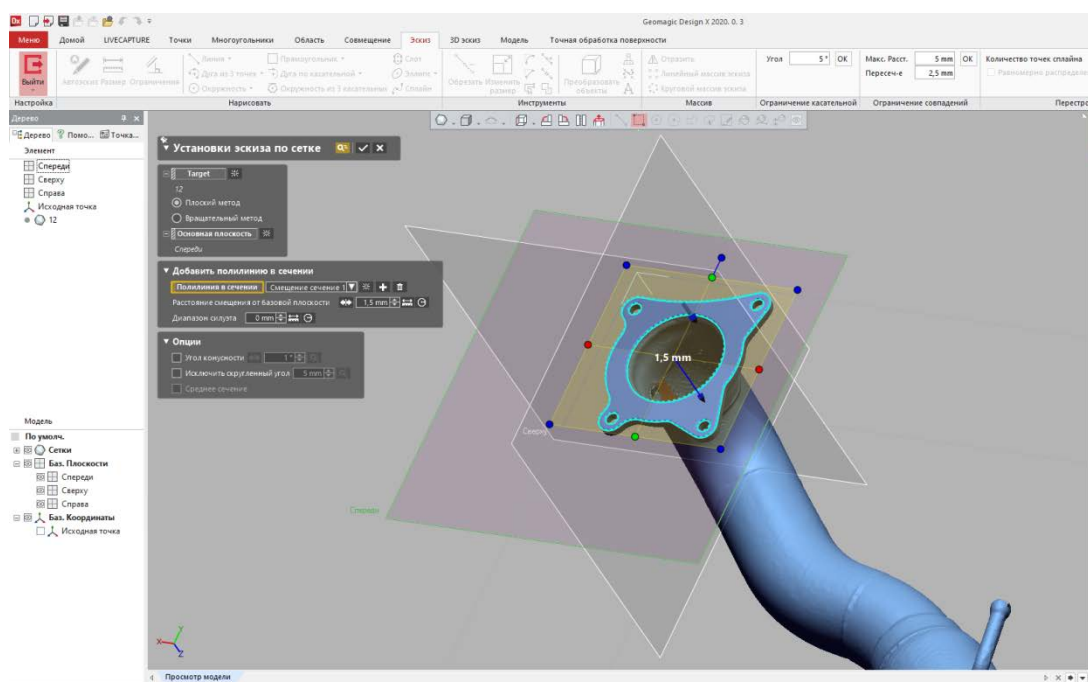


Рис. 238. Эскиз фланца по сетке

Прочерчиваем эскиз окружности, задав размер 42,4 мм и принимаем эскиз.

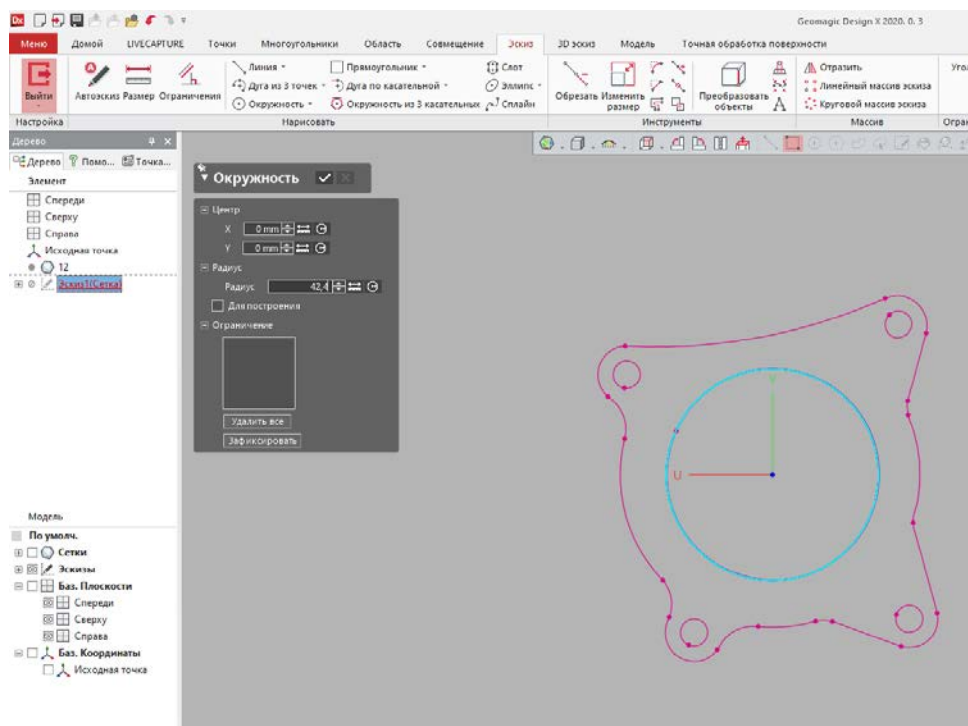


Рис. 239. Редактируем эскиз

С противоположного конца у нас не имеется фланца, но имеется торец трубы. *Модель / Плоскость / Метод Выбрать множественные точки* и выбираем точки на торце трубы.

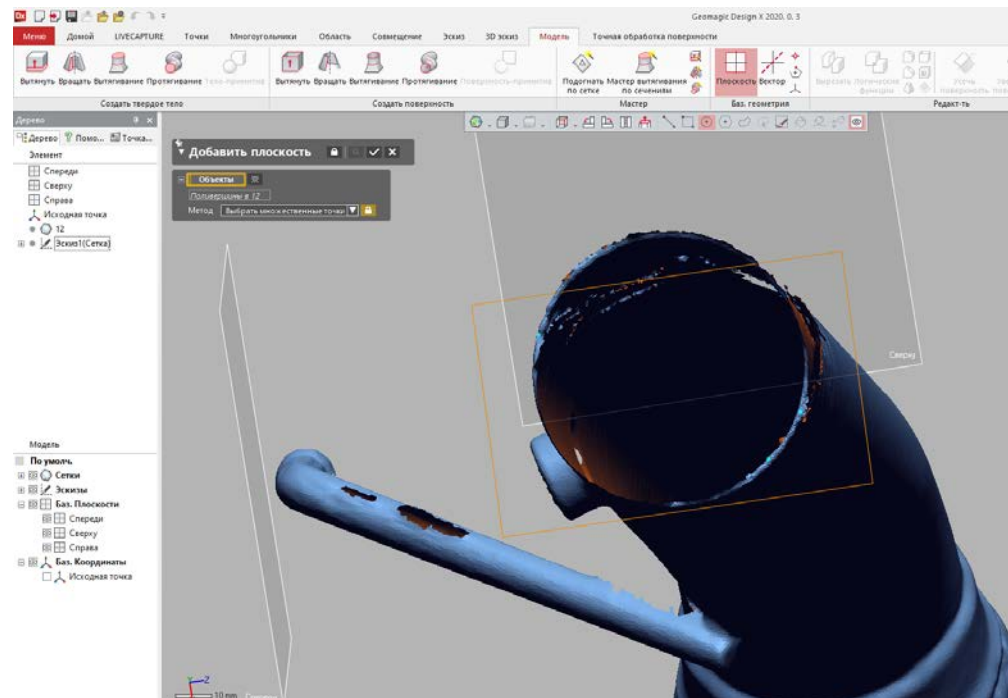


Рис. 240. Добавляем плоскость

Строим эскиз по сетке, сместив плоскость эскиза, так чтобы не попали не просканированные части.

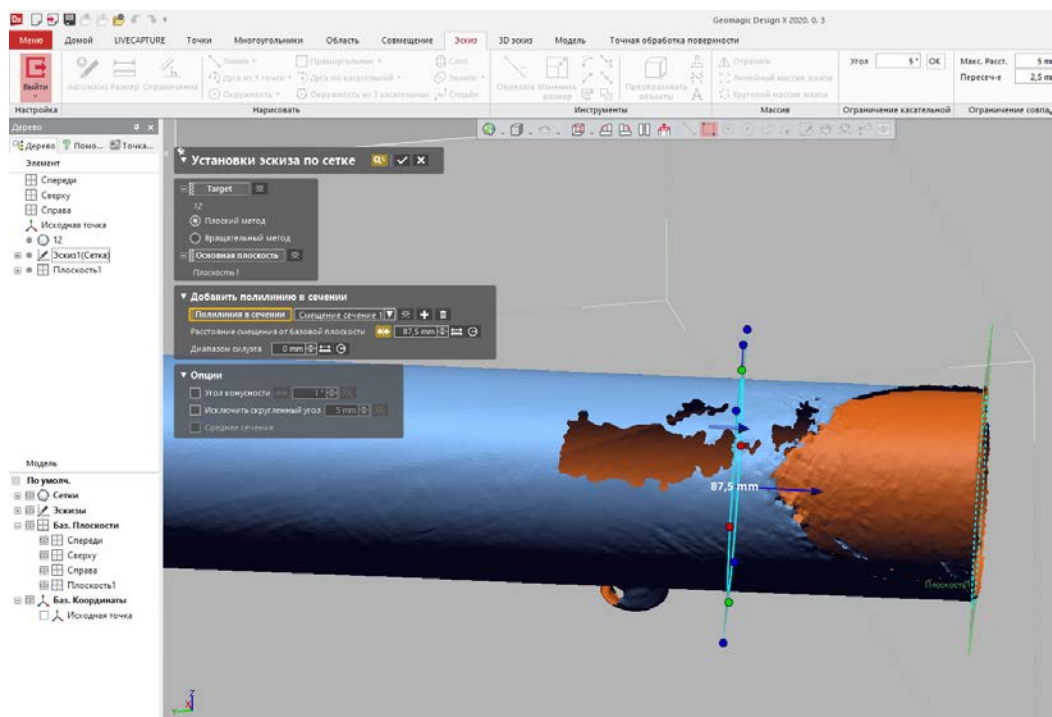


Рис. 241. Установка эскиза по сетке

Строим окружность размером 38 мм.

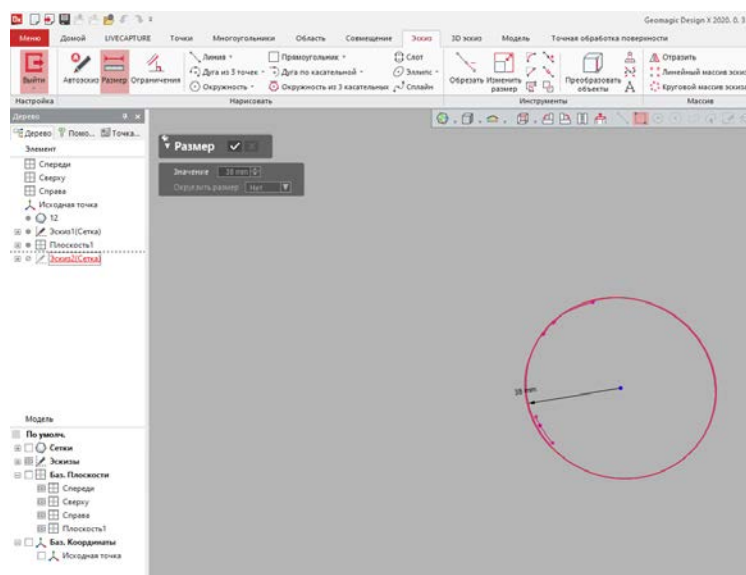


Рис. 242. Окружность

Таким образом, мы получаем точки начала и конца, и для построения не хватает траектории. Для того чтобы извлечь траекторию, выбираем *Лассо* и выбираем наши трубы, не выбирая гофру, фланец, втулки и крепления. Переходим во вкладку *Область* и нажимаем *Вставить область*. Таким образом, мы добавили только нужную нам область, не разбивая весь скан на области.

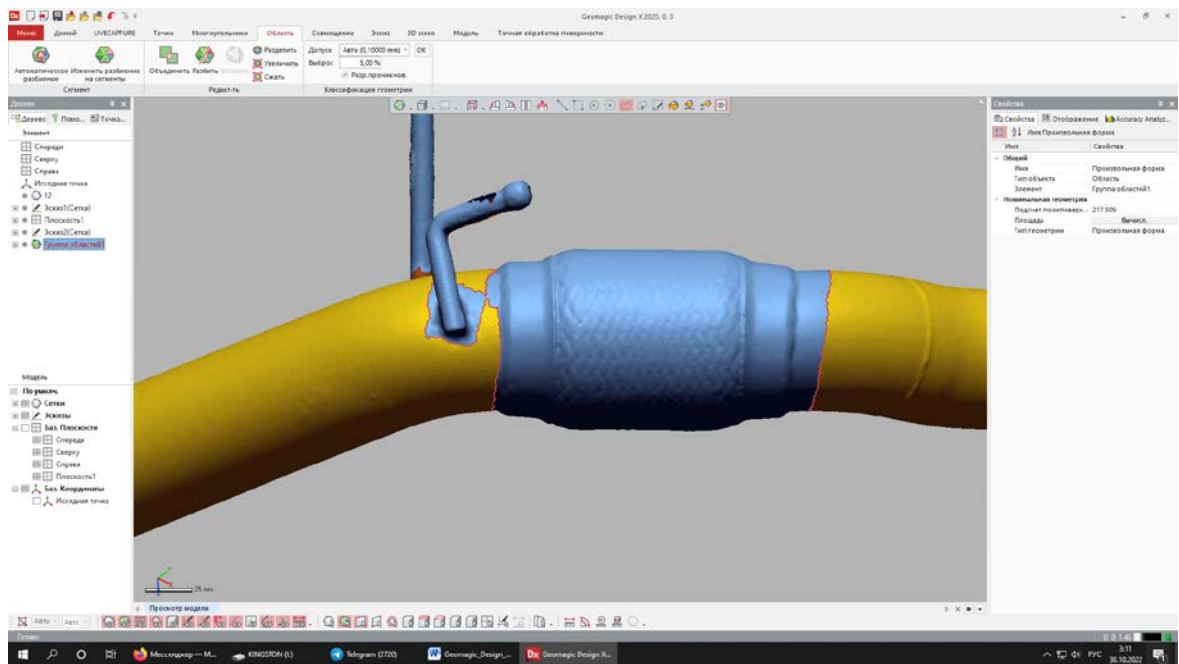


Рис. 243. Выделяем все, кроме гофры

Выбираем ее, переходим во вкладку *Модель / Базовая геометрия* *Полилиния / Метод Труба* с опцией из внешней трубы.

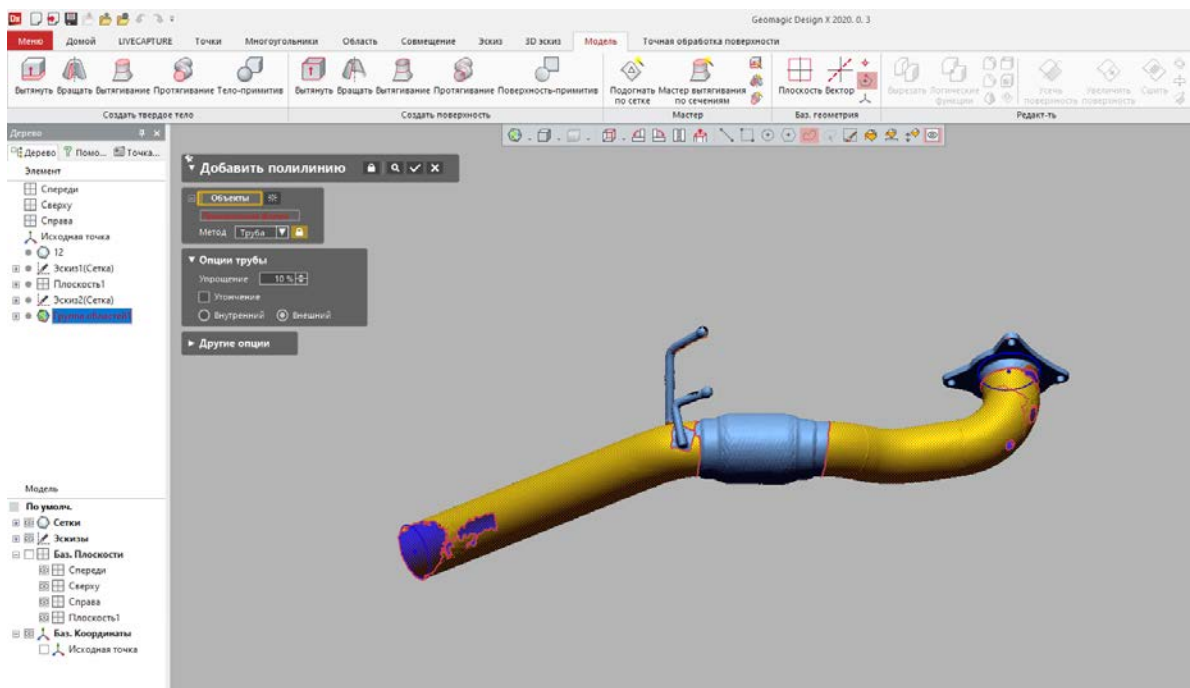


Рис. 244. Добавляем полилинию

Во вкладке *3D-эскиз* функцией *3D-эскиз* строим сплайн, началом которого будут начальные и конечные точки, далее по полилинии проставляем необходимое количество точек.

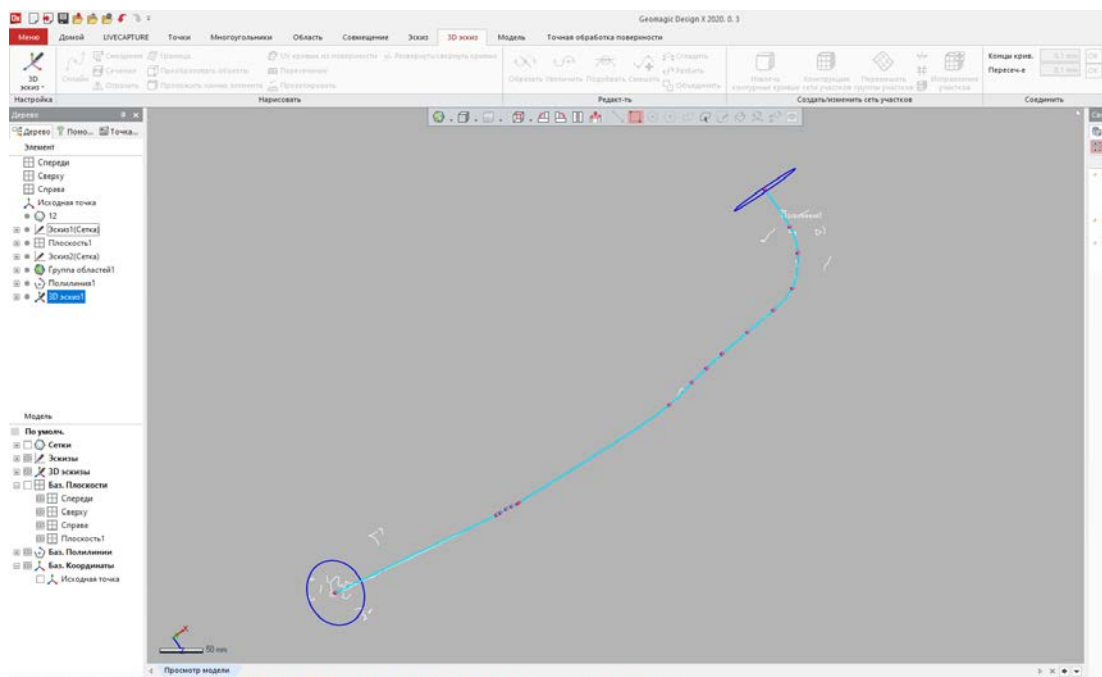


Рис. 245. Строим сплайн

Вкладка *Модель* / *Плоскость* / *Метод N разделение* и выбираем полилинию. Программа строит плоскости, расположенные по нормали к полилинии.

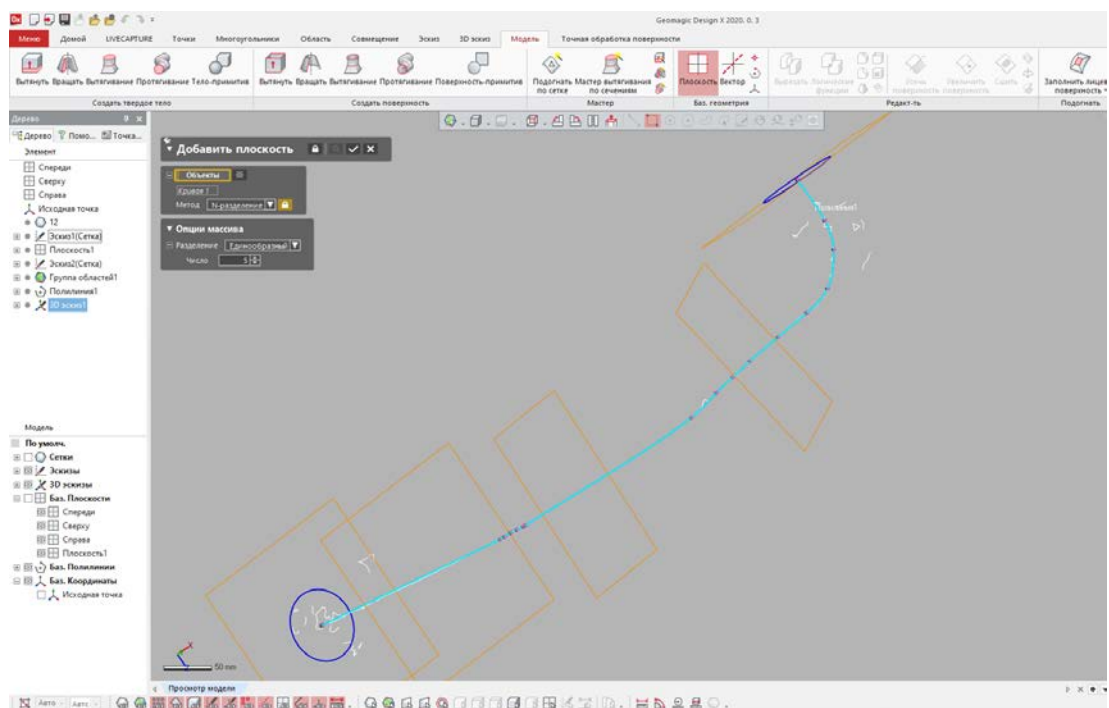


Рис. 246. Плоскости, расположенные по нормали

Включаем плоскости. Выбираем плоскость 3 и строим *Эскиз по сетке*.

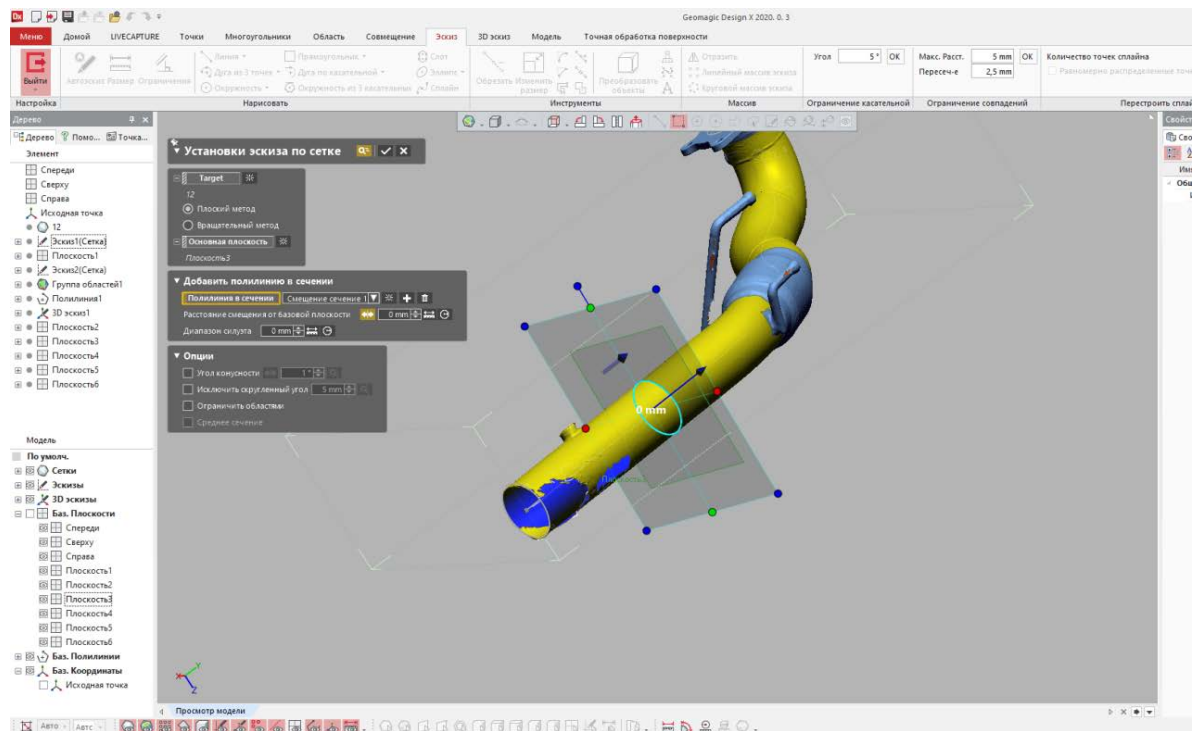


Рис. 247. Строим эскиз по сетке

Очерчиваем окружностью 38 мм.

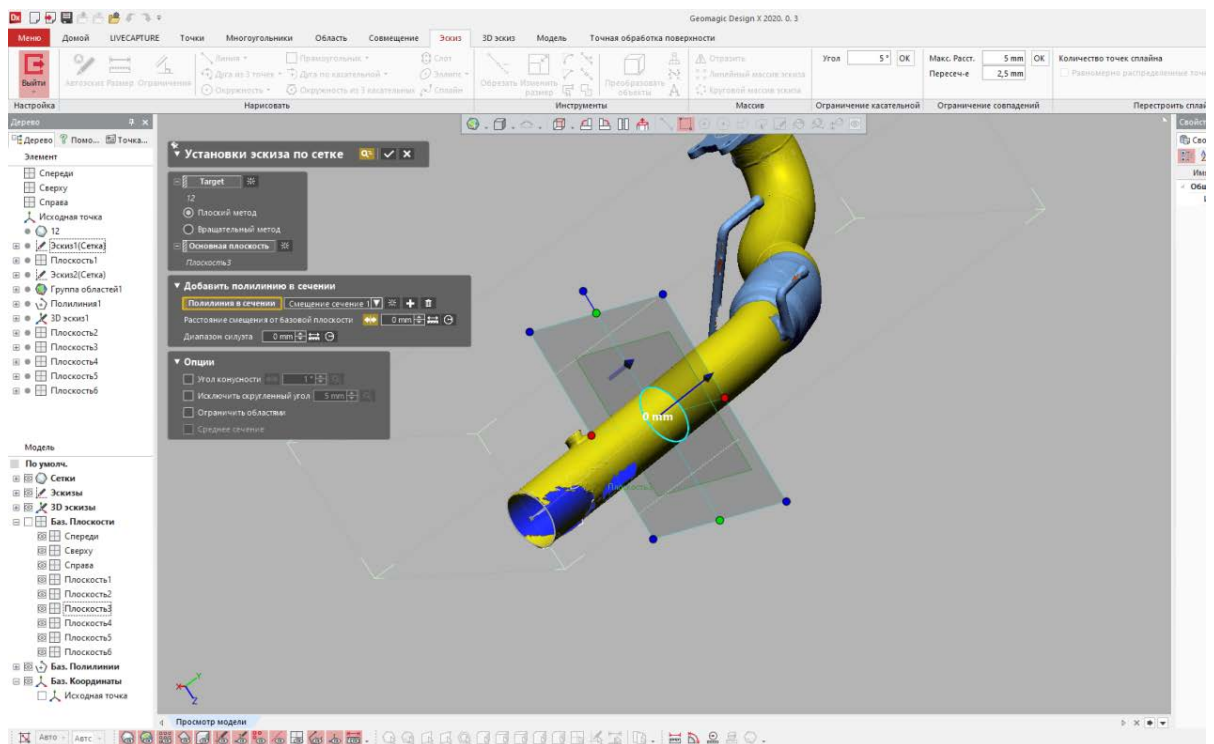


Рис. 248. Эскиз по сетке

Выдавливаем эскиз функцией *Протягивание*, профиль – эскиз, траектория – полилиния.

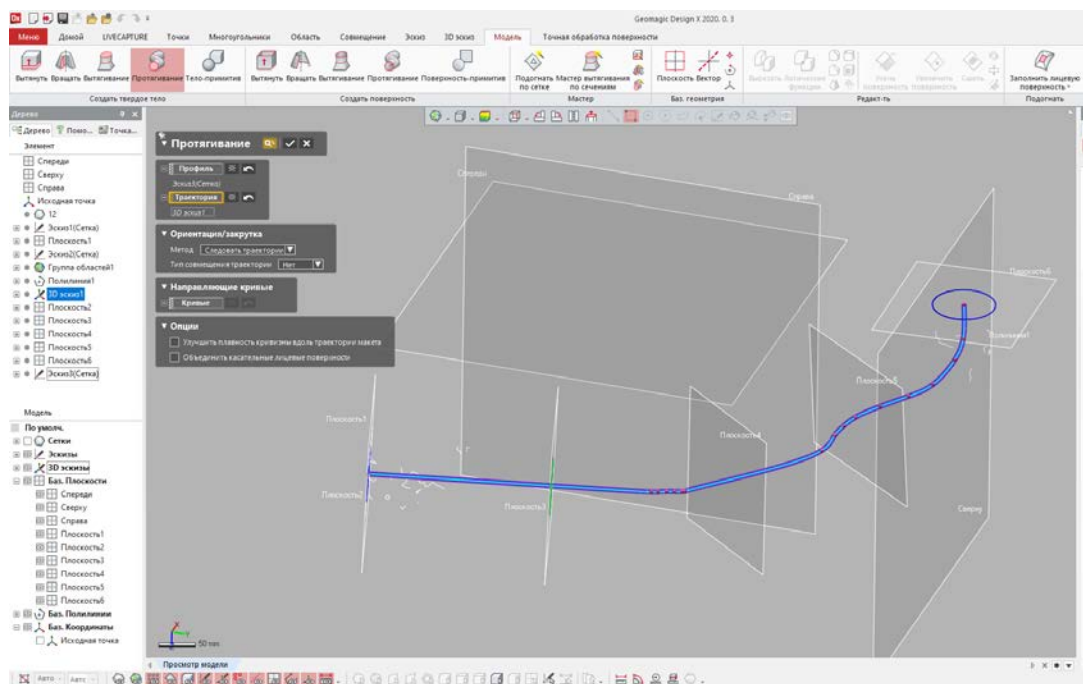


Рис. 249. Протягивание

Редактировать / Оболочка, выбираем лицевые поверхности и задаем толщину.

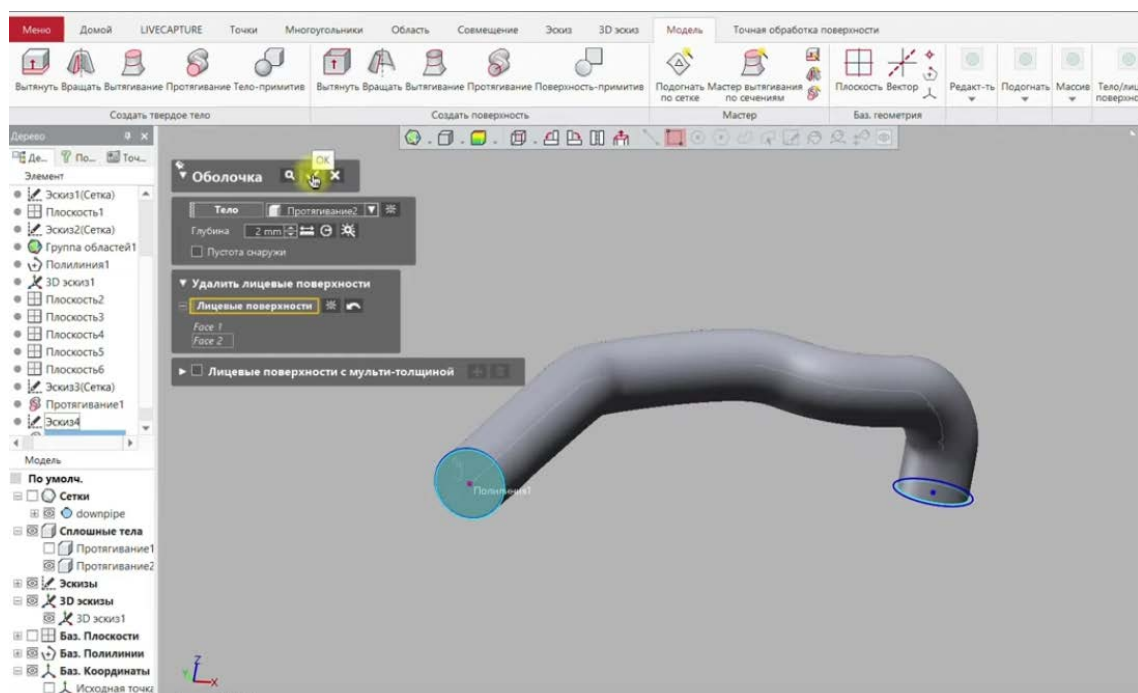


Рис. 250. Оболочка

Фланец, крепление и втулки строим самостоятельно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Реверс-инжиниринг – инструмент для импортозамещения. – Текст : электронный // РБК : [сайт]. – 2022. – URL: <https://companies.rbc.ru/news/949e648d-6ad7-4483-81f9-b1d5e455291b/revers-inzhiniring---instrument-dlya-importozamescheniya> (дата обращения 15.11.2022).

2. Видеоуроки Scanform 3D scanner, дата обращения. – YouTube : [сайт]. – URL: <https://www.youtube.com/channel/UCPS6x89jMjJvVrffwMsUccA> (дата обращения 15.11.2022).

Учебное издание

**Томилова Ольга Васильевна
Тверитина Алёна Владимировна
Вечерина Александра Андреевна
Шабров Кирилл Дмитриевич**

Современные методы расчета технологических машин и оборудования

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Техн. редактор Д. А. Романова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 21.12.2022 г. Рег. № 5084/22

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.