

**Владимирский государственный университет**

**Л. В. БЕЛЯЕВ    А. В. ЖДАНОВ**

# **АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**Практикум**

**Владимир 2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Л. В. БЕЛЯЕВ    А. В. ЖДАНОВ

# АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Практикум

*Электронное издание*



Владимир 2022

ISBN 978-5-9984-1348-3

© ВлГУ, 2022

© Беляев Л. В., Жданов А. В., 2022

УДК 621.9 : 004.9

ББК 34.5-5-05

Рецензенты:

Доктор технических наук  
генеральный директор ООО «Арсенал Технологий»  
*А. А. Фомин*

Доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры автоматизации, мехатроники и робототехники  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*И. Н. Егоров*

**Беляев, Л. В.** Аддитивные технологии [Электронный ресурс] : практикум / Л. В. Беляев, А. В. Жданов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 88 с. – ISBN 978-5-9984-1348-3. – Электрон. дан. (4,63 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

В цикле практических работ рассмотрены принципы изготовления изделий на основе наиболее популярных технологий аддитивного производства, а также технологии создания цифровых моделей трехмерных объектов с применением бесконтактного оптического 3-D сканера. Дано описание пространственных компоновок оборудования, работающего на основе указанных технологий, приведены основные этапы генерации управляющих программ.

Разработан в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования и предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств; 28.03.05 – Наноинженерия и 27.03.05 – Инноватика.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 13. Ил. 50. Библиогр.: 19 назв.

ISBN 978-5-9984-1348-3

© ВлГУ, 2022

© Беляев Л. В., Жданов А. В., 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Практическая работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ И АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3-D РУЧКИ 3DPEN-2В .....	5
Практическая работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ НАСТОЛЬНОГО 3-D ПРИНТЕРА МАКЕРВОТ REPLICATOR 2 .....	13
Практическая работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ 3-D ПРИНТЕРА МАКЕРВОТ REPLICATOR 2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «МАКЕРВОТ DESKTOP» .....	21
Практическая работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ 3-D ПРИНТЕРА PROJET 1200 И АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «GEOMAGIC PRINT».....	30
Практическая работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ 3-D ПРИНТЕРА OBJET30 PRO И АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «OBJET STUDIO» .....	41
Практическая работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ 3-D ПРИНТЕРА CONCERT LASER M2 CUSING И АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MATERIALISE MAGICS.....	53
Практическая работа № 7. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ BREUCKMANN ОРТО-TOP HE .....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	85

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших проблем современного машиностроения является вопрос перехода производства на новые виды продукции. Сокращение длительности конструкторской и технологической подготовки производства как этапов жизненного цикла изделия способствует радикальному снижению непроизводственных затрат. Наиболее распространенный путь решения данной проблемы – использование различных систем автоматизации инженерной деятельности, однако, помимо решения вопросов создания технической документации конструкторско-технологическая подготовка производства требует оперативного изготовления единичных физических моделей изделий, таких как прототипы для оценки свойств проектируемых объектов, модельная оснастка для процессов литья, электроинструменты для физико-технической обработки и др.

Для успешного решения подобных задач в настоящее время все более активно используются совершенно новые технологии производства изделий, получившая название «Аддитивные технологии». Данные технологии основаны на прямом производстве изделий на основе их трехмерных цифровых моделей и не требуют наличия дополнительной технологической оснастки, а основным принципом производства готового изделия является добавление, а не удаление материала. На основе данных о виртуальных моделях твердых тел можно изготавливать их физические модели за несколько часов, не затрачивая времени на разработку технологий, управляющих программ и др.

Выполнение студентами цикла практических работ, представленных в практикуме, поможет сформировать навыки работы с такими технологиями аддитивного производства, как FDM, SLA, PolyJet и SLM, а также технологией создания цифровых моделей трехмерных объектов с применением бесконтактного оптического 3-D сканера. Практикум может представлять интерес как для студентов высших учебных заведений, так и инженерно-практических работников, изучающих новые технологии производства изделий.

## **Практическая работа № 1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ И АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3-D РУЧКИ 3DPEN-2B**

**Цель работы:** ознакомление с устройством и принципом работы 3-D ручки 3DPEN-2B.

**Оборудование и инструменты:** 3-D ручка 3DPEN-2B, конструкционный материал.

### ***Теоретические положения:***

3D-ручка – это инструмент, позволяющий создавать трехмерные объекты из пластика. Это устройство появилось в 2013 году, а его разработчиками являются американцы Макс Боуг и Питер Дилворт. Эта идея пришла изобретателям в то время, когда их 3D-принтер отказался работать, а для того, чтобы выполнить заказ в срок, им необходимо было исправить недостаток в напечатанной пластиковой модели. Американцы разработали проект 3D-ручки и представили его на официальном сайте Kickstarter, который используют изобретатели всего мира для привлечения денежных средств на развитие своих творческих и научных проектов. Основной целью было набрать сумму в 30 тыс. долларов США для начала производства изделия. В итоге, инженерам удалось собрать более 2 млн. долларов для своего производства, что подтверждало большую заинтересованность потенциальных покупателей проектом.

3D-ручки отличаются друг от друга принципом работы. В зависимости от применяемого материала и особенностей формирования объектов различают:

- ✓ «горячие», которые используют полимерный сплав в виде пластиковой нити, намотанной на катушку, такие же нити используются и для 3D-принтеров;
- ✓ «холодные», которые работают с быстро затвердевающими пластиками – фотополимерами.

«Горячие» 3D-ручки на задней части корпуса имеют специальное отверстие, в которое заправляется конструкционный материал. Для начала работы необходимо нажать соответствующую кнопку на корпусе 3D-ручки. Внутри 3D-ручки находится автоматический механизм, который подводит нить к экструдеру, в нем пластик плавится и выходит наружу.

Большинство современных моделей 3D-ручек оснащены функцией регулировки скорости подачи материала, температуры нагрева и дисплеем, на котором отображается вся необходимая информация о режимах работы устройства. Металлический наконечник печатающей головки во время работы 3D-ручки нагревается до 240 градусов, что требует соблюдения правил безопасности, а неаккуратное и небрежное отношение при работе с 3D-ручкой увеличивает шансы получения ожога. Каждая «горячая» 3D-ручка оборудована встроенным мини-вентилятором, который способствует быстрому остыванию экструдированного пластика. Большинство «горячих» 3D-ручек работает от электрической сети (220В), но некоторые модели функционируют и от сменных элементов питания. «Горячие» 3D-ручки имеют небольшие размеры и хорошую эргономику, что позволяет легко удерживать ее одной рукой, что повышает ее функциональность. Большинство моделей поддерживают опцию быстрой смены пластиковых нитей, что позволяет комбинировать разные цвета при изготовлении одного объекта. Для таких ручек используются пластиковые нити из материалов ABS (Acrylonitrile butadiene styrene – акрилонитрил бутадиен стирол) или PLA (Polylactic Acid – полилактид). ABS-пластик является более долговечным, износостойким по сравнению с PLA-пластиком, хорошо подходит для ремонта бытовых предметов. Из недостатков ABS-пластика можно отметить наличие сильного запаха жженным материалом. Предметы, смоделированные с помощью PLA-пластика намного качественнее и прочнее, это достигается путем пониженной температуры плавления. PLA-пластик экологически чистый, биоразлагаемый материал, изготавливаемый из натуральных компонентов (возобновляемых источников, в частности из кукурузного крахмала или сахарного тростника).

«Холодные» 3D-ручки не имеют нагревательных элементов, заправляются специальными материалами, которые изменяют свои свойства под воздействием света – фотополимерами (светополимерами). Такие конструкционные материалы не имеют посторонних неприятных запахов и полностью безопасны для человеческого здоровья. Фотополимеры для «холодных» 3D-ручек бывают различных цветов и обладают различными физико-механическими характеристиками (биоразлагаемые, токопроводящие и др.). В отличие от «горячих» 3D-ручек, застывание конструкционного материала происходит под воздействием ультрафиолетового света.

3D-ручки находят применение в различных сферах жизнедеятельности человека. Во-первых, 3D-ручки – это прекрасное устройство для детского творчества. Ребенок легко может справиться с таким устройством, обводя контур изображения, слой за слоем. В итоге получится объемная фигура. Постепенное повышение уровня сложности заданий приведет к тому, что ребенок сможет самостоятельно создавать пластиковые предметы в воздухе (необычные фигурки, кружевные украшения, вазочки и др.) без дополнительных шаблонов. Во-вторых, 3D-ручка является функциональным инструментом для решения различных бытовых проблем. Не редко в быту мы встречаемся с ситуациями, когда необходимо починить какое-либо устройство из пластика, улучшить его внешний вид. Конечно, не стоит сравнивать 3D-ручку и профессиональные 3D-принтеры, которые способны создавать точные изделия на основе 3D-моделей. Однако, 3D-ручка имеет компактные размеры и минимальный вес. Еще одно неоспоримое преимущество 3D-ручек – доступная цена, как на саму ручку, так и расходные материалы.

Наиболее популярными на рынке являются следующие модели:

- ✓ 3D-MAKING;
- ✓ Avocadoffka;
- ✓ Funtastique;
- ✓ Gynobu;
- ✓ Honya;
- ✓ Ihippo;
- ✓ LV&Deluxe;
- ✓ MozgoБум;
- ✓ MyRiwell;
- ✓ UNID.

3-D ручка 3DPEN–2B представляет собой устройство, позволяющее вручную создавать объекты из пластика методом FDM (моделирование методом наплавления) [1]. 3-D ручка выполняет те же функции, что и экструдер с нагревающим элементом в 3-D принтерах, работающих по указанной технологии: нагрев и выдавливание конструкционного материала через сопло. В отличие от 3-D принтеров, которые послойно изготавливают детали по точной математической модели, при использовании 3-D ручки необходимо вручную повторять сечения изделия. Из-за этого серьезно снижается точность и качество изделий, так как при их изготовлении невозможно использовать заранее подготовленные шаблоны.



Несмотря на указанный недостаток при создании 3-D моделей изделий, 3-D ручка позволяет создавать отдельные грани, которые в последующем могут быть соединены тем же конструкционным материалом, так как у 3-D ручки нет ограничений на степени свободы, в отличие от экструдера 3-D принтеров. Это позволяет ускорить создание изделий, которые имеют простую геометрию.

Технические характеристики 3DPEN–2B представлены в таблице 1.1 [2].

Таблица 1.1

Технические характеристики 3-D ручки 3DPEN–2B

Диаметр сопла, мм	0,4
Диаметр нити, мм	1,75
Конструкционные материалы	Пластиковая нить из ABS или PLA
Регулировка температуры	Ручная
Вес, гр	62

Основными областями применения 3-D ручек являются:

1. Создание двух и трех мерных объектов, не требующих высокой точности изготовления;
2. Декорирование, художественная доработка и др.;
3. Возможность соединения двух и более отдельных частей в единое изделие (в данном случае соединение элементов с помощью 3DPEN–2B является аналогом сварки металлических изделий);
4. Восстановление изделий из пластика, при их разрушении.

На рисунке 1.1 показан общий вид 3-D ручки 3DPEN–2B с указанием основных конструктивных элементов и органов управления.



Рис. 1.1. Общий вид 3-D ручки 3DPEN–2В

- А. Разъём питания;
- В. Отверстие для загрузки конструкционного материала;
- С. Кнопка повышения температуры нагрева конструкционного материала;
- Д. ЖК-дисплей, показывающий значение температуры нагрева конструкционного материала;
- Е. Кнопка понижения температуры нагрева конструкционного материала;
- Ф. Кнопка выгрузки конструкционного материала;
- Г. Кнопка регулировки скорости подачи конструкционного материала;
- Н. Кнопка загрузки конструкционного материала;
- И. Решётка для теплоотвода;
- Ж. Сопло;
- К. Наконечник.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомиться с теоретической частью, касающейся устройства и принципа работы 3-D ручки 3DPEN-2B;

2. Подготовить 3-D ручку 3DPEN-2B к работе (подключить устройство к электросети, загрузить конструкционный материал, установить требуемые параметры работы для применяемого материала);

3. После нагрева пластика до требуемой температуры плавления, создать элементы по эскизам шаблонов, приведенных на рисунках 1.2 – 1.4. Толщина каждого элемента  $\approx 1,4$  мм, что соответствует двум слоям при диаметре сопла 0,7 мм.

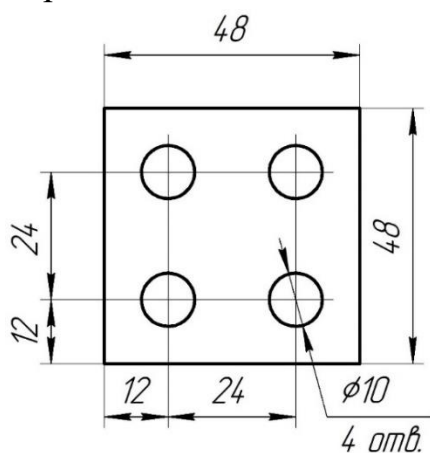


Рис.1.2. Эскиз шаблона крышки (1 шт.)

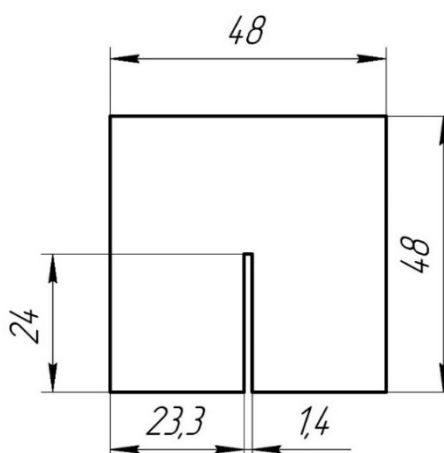


Рис.1.3. Эскиз шаблона ребра жёсткости (2 шт.)

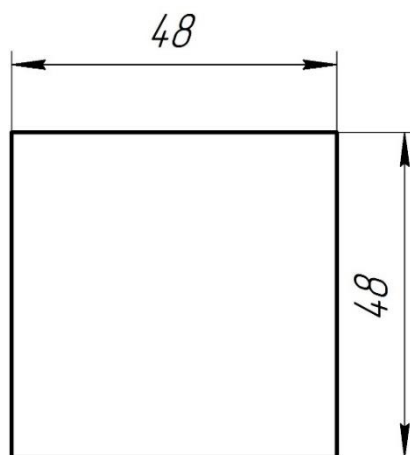


Рис.1.4. Эскиз шаблона стенки (5 шт.)

4. Произвести сборку отдельных элементов, изготовленных на предыдущем этапе, и соединить их, как показано на рисунках 1.5 – 1.7 (черным цветом показаны места соединения деталей с помощью их сплавления конструкционным материалом);

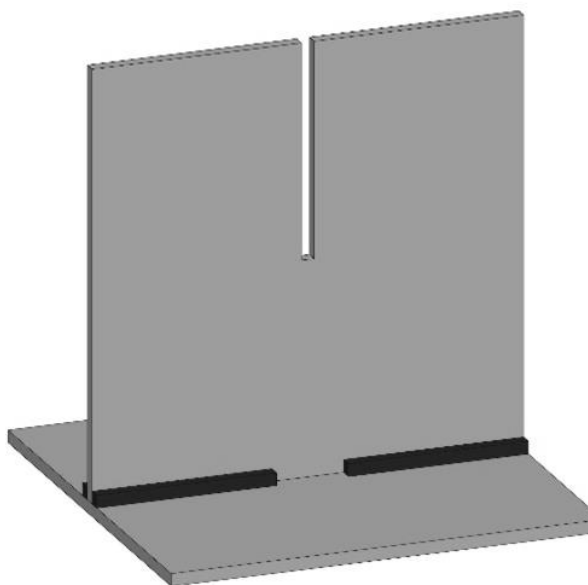


Рис.1.5. Соединение дна с ребром жёсткости. Паять вдоль стыка, не доходя до середины

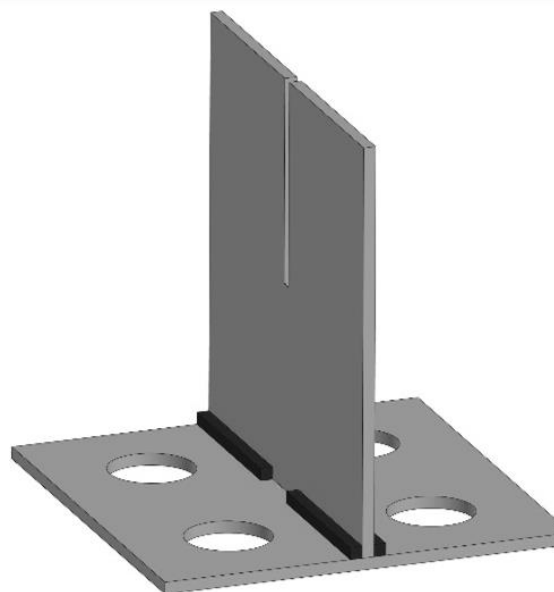


Рис.1.6. Соединение крышки с ребром жёсткости. Паять вдоль стыка, не доходя до середины

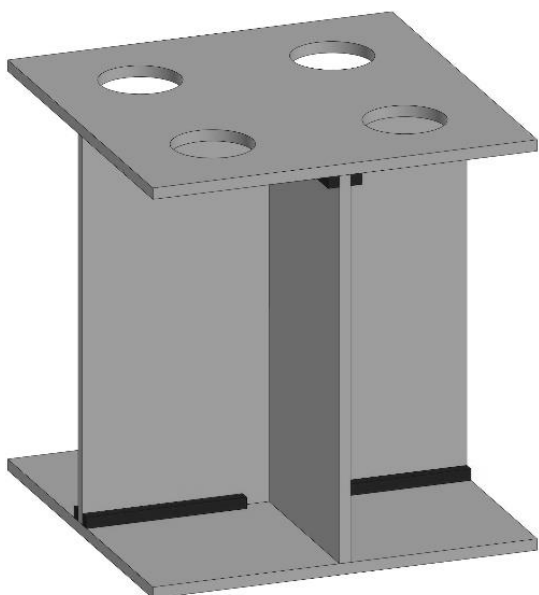


Рис.1.7. Соединение двух подборок без сплавания

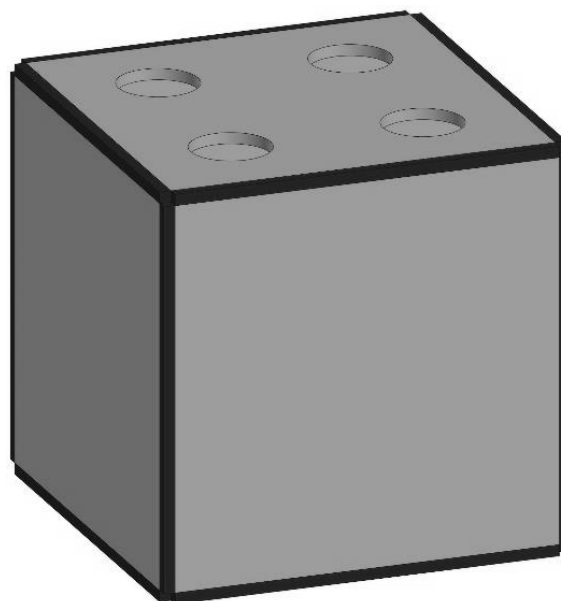


Рис.1.8. Добавление боковых стенок, соединение материалом по периметру

***Отчет должен содержать:***

1. Цель и краткие теоретические сведения
2. Изображения внешнего вида 3-D ручки 3DPEN–2B с указанием основных конструктивных элементов;
3. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;

4. Вывод по выполненной практической работе.

***Контрольные вопросы:***

1. Какая технология применяется при создании изделий с использованием 3-D ручки 3DPEN–2B?
2. Какие конструкционные материалы применяются для построения изделий с использованием 3-D ручки 3DPEN–2B? Дайте их характеристику.
3. Укажите основные технические характеристики 3-D ручки 3DPEN–2B.
4. Укажите основные преимущества и недостатки использования 3-D ручки 3DPEN–2B.
5. Опишите основные этапы изготовления изделий с применением 3-D ручки 3DPEN–2B.

## **Практическая работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ НАСТОЛЬНОГО 3-D ПРИНТЕРА MAKERBOT REPLICATOR 2**

**Цель работы:** изучение устройства и принципа работы настольного 3-D принтера MakerBot Replicator 2.

**Оборудование и инструменты:** настольный 3-D принтер MakerBot Replicator 2, катушка с конструкционным материалом, SD-карта памяти с программой печати объекта, щуп для измерения расстояния между соплом экструдера и платформой построения.

### ***Теоретические положения:***

MakerBot Replicator 2 – это настольный 3-D принтер, предназначенный для создания сплошных трёхмерных объектов из расплавленной пластиковой нити с различными физико-механическими свойствами. Такая технология называется – FDM (Fused Deposition Modeling – моделирование методом послойного наплавления) [3]. Технология FDM подразумевает создание трёхмерных объектов за счёт нанесения последовательных слоёв материала, повторяющих контуры цифровой модели изделия. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики в виде нитей, намотанных на катушку или прутков.

Технология FDM была разработана С. Скоттом Крампом (S. Scott Crump) в конце 1980-х годов и вышла на коммерческий рынок в 1990 году.

Оригинальный термин «Fused Deposition Modeling» и аббревиатура FDM являются торговыми марками компании «Stratasys». Энтузиасты 3D-печати, участники проекта RepRap (Replicating Rapid Prototyper – самовоспроизводящийся механизм для быстрого изготовления прототипов), придумали аналогичный термин, имеющий аббревиатуру FFF (Fused Filament Fabrication – производство способом наплавления нитей) для использования в обход юридических ограничений. Термины (технологии) FDM и FFF равнозначны по смыслу и назначению. Производственный цикл, на основе указанных технологий, начинается с обработки трёхмерной цифровой модели. Модель в определенном формате (STL-формат) делится на слои и ориентируется наиболее подходящим образом для печати на платформе построения. Процесс подготовки модели для печати называется «slicing», в результате

которого генерируется управляющая программа на основе G-code. В нее закладываются все параметры 3-D печати, перемещения экструдера, при необходимости генерируются поддерживающие структуры, необходимые для изготовления нависающих элементов изделия. Некоторые устройства позволяют использовать разные материалы во время одного производственного цикла. Например, возможна печать модели из одного материала с печатью поддерживающих структур из другого, легкорастворимого материала, что позволяет с лёгкостью удалять поддерживающие структуры после завершения процесса 3-D печати. Так же, возможна печать разными цветами одного и того же вида пластика при создании единой модели.

Изделие производится выдавливанием («экструзией») и нанесением микрокапель расплавленного термопластика с формированием последовательных слоёв, застывающих сразу после экструдирования [4 – 6].

Пластиковая нить разматывается с катушки и подаётся в экструдер – устройство, оснащённое механическим приводом для ее подачи, нагревательным элементом для плавки материала и соплом, через которое осуществляется непосредственно выдавливание материала – экструзия. Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подаёт в расплавленном виде на платформу построения, тем самым формируя строящееся изделие. Как правило, верхняя часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала.

#### Процесс 3-D печати на основе FDM/FFF-технологий

Экструдер перемещается в горизонтальной и вертикальной плоскостях под контролем алгоритмов, аналогичных используемым в станках с числовым программным управлением. Сопло перемещается по траектории, заданной системой автоматизированного проектирования. Изделие строится слой за слоем, снизу вверх. Как правило, экструдер (также называемый «печатающей головкой») приводится в движение шаговыми двигателями или сервоприводами. Наиболее популярной системой координат, применяемой в FDM/FFF 3-D принтерах, является прямоугольная, декартова система координат с осями X, Y и Z. Альтернативой является цилиндрическая система координат, используемая, так называемыми, «дельта-роботами».

Технология FDM/FFF отличается высокой гибкостью, но имеет определённые ограничения. Хотя создание нависающих структур возможно при

небольших углах наклона, в случае с большими углами необходимо использование искусственных опор, как правило, создающихся в процессе печати и отделяемых от модели по завершении процесса.

В качестве расходных материалов доступны всевозможные термопластики и композиты, включая ABS, PLA, поликарбонаты, полиамиды, полистирол, лигнин и многие другие. Как правило, различные материалы предоставляют выбор баланса между определёнными прочностными и температурными характеристиками.

Конструкция 3-D принтера MakerBot Replicator 2 включает в себя следующие основные элементы (рис. 2.1) [7].

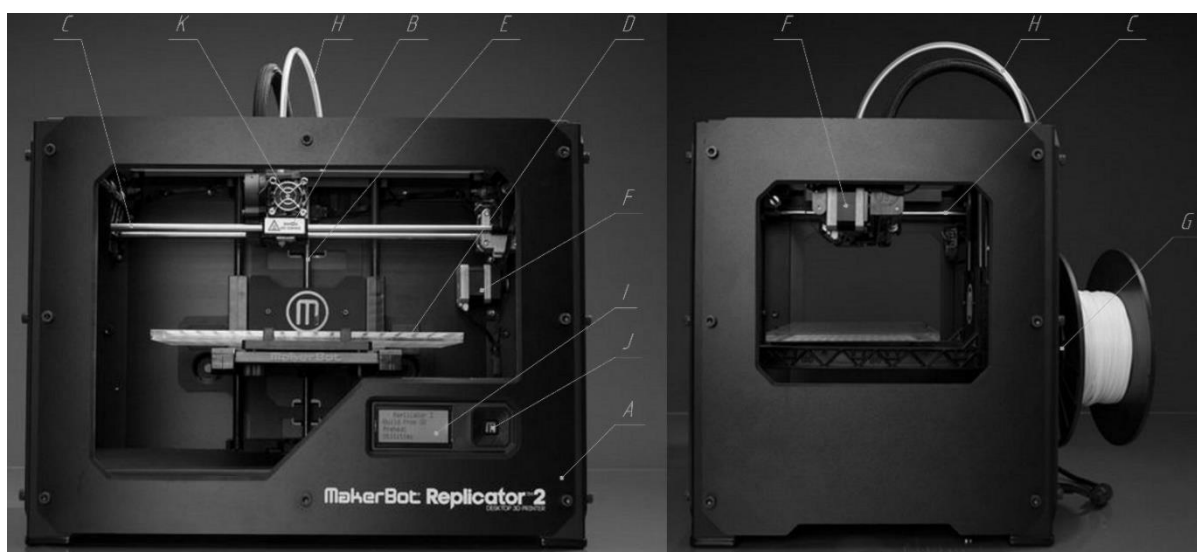


Рис.2.1. Внешний вид настольного 3-D принтера MakerBot Replicator 2

- А. металлический корпус;
- В. экструдер, предназначенный для нагревания и выталкивания конструкционного материала;
- С. направляющие скольжения, служащие для перемещения экструдера в плоскости XY;
- Д. платформу построения, выполненную из полиметилметакрилата;
- Е. передачу винт-гайка для перемещения платформы построения по оси Z;
- Ф. шаговые двигатели, обеспечивающие движение экструдера и платформы построения по заданным координатам с требуемой скоростью и точностью;
- Г. кронштейн для установки катушки с конструкционным материалом ;



Н. направляющую трубку, которая является направляющей для подаваемого в экструдер конструкционного материала;

И. ЖК-монитор для отображения информационных сообщений;

Ж. кнопочная панель управления для задания требуемых настроек печати;

К. вентиляторы для охлаждения материала и экструдера во время работы.

Технические характеристики 3-D принтера MakerBot Replicator 2 представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Технические характеристики 3-D принтера MakerBot Replicator 2

Габариты области построения	
Длина, мм	228
Ширина, мм	153
Высота, мм	155
Габариты оборудования	
Длина, мм	490
Ширина, мм	420
Высота, мм	380
Вес, кг	11,5
Параметры печати	
Толщина слоя, мм	0,1÷0,3
Количество печатающих головок	1
Скорость выращивания, см <sup>3</sup> /час	24
Поддерживаемые форматы файлов	STL, OBJ, THING
Совместимые ОС	Windows, Linux, OSX

Перед началом работы необходимо провести калибровку уровня платформы построения 3-D принтера и загрузить конструкционный материал.

Калибровка – это процесс установки платформы построения в горизонтальное положение и задание определенного расстояния между ней и соплом экструдера. Если платформа построения будет находиться слишком далеко от сопла экструдера или ее части будут на разном расстоянии от сопла, то при изготовлении изделий могут возникнуть дефекты построения, которые вызовут искажение формы и размеров получаемого изделия, а так же может произойти отслоение изделия от платформы построения из-за плохой адгезии (возможности к склеиванию) конструкционного материала. Если

платформа построения будет находится слишком близко к соплу экструдера, то она может затруднять экструдирование конструкционного материала из сопла, а также нанести механические повреждения (царапины) платформе построения.

Необходимо производить регулярную калибровку платформы построения для обеспечения требуемой адгезии конструкционного материала к платформе построения и устранения возможности возникновения дефектов построения.

Для выравнивания платформы построения в горизонтальной плоскости необходимо использовать расположенные под ней три маховика. Они служат для подъёма и опускания платформы построения. При закручивании маховиков (повороте вправо) платформа построения отодвигается от сопла экструдера. При выкручивании маховиков (повороте влево) платформа построения приближается к соплу экструдера. Расстояние между соплом экструдера и платформой построения измеряется с помощью щупа, в роли которого выступает пластиковая карточка. Щуп должен проходить между платформой построения и соплом экструдера, но на них не должно оставаться царапин.

Выгрузка/загрузка конструкционного материала производится в следующих случаях:

- при необходимости смены конструкционного материала;
- при отсутствии материала в экструдере 3-D принтера;
- в процессе изготовления изделий, которые должны иметь разные характеристики по высоте.

Процесс загрузки материала включает:

- ✓ установку катушки с конструкционным материалом на кронштейн;
- ✓ протягивание конструкционного материала через направляющую трубку;
- ✓ загрузка материала в экструдер 3-D принтера.

#### ***Порядок выполнения работы:***

##### *Калибровка платформы построения*

1. Выберите в меню пункт «*Utilities*» (Утилиты) нажатием кнопки «М». Найдите пункт «*Level Build Plate*» (Уровень платформы построения) используя для этого кнопки перемещения по пунктам меню (вверх/вниз) и выберите его нажатием кнопки «М».

2. Следуя указаниям на ЖК-мониторе, произведите первичную калибровку горизонтального уровня платформы построения. При проведении

первичной калибровки сопло экструдера будет поочередно подводиться к трём точкам, совпадающим с местоположением маховиков под платформой построения. В каждой точке необходимо отрегулировать маховик таким образом, чтобы щуп или карточка плотно проходили между платформой построения и соплом экструдера, но на них не должно оставаться царапин. Переход к следующей контрольной точке осуществляется нажатием кнопки «М». Поскольку зазор во всех трёх точках должен быть одинаковым, усилие, с которым щуп или карточка проходит между столом и соплом, должно быть одинаковым.

3. После окончания этапа первичной калибровки платформы построения необходимо произвести ее окончательную калибровку следуя указаниям на ЖК-мониторе. При проведении окончательной калибровки сопло экструдера будет перемещаться к четырем точкам. При нахождении сопла экструдера в первых трех точках производится регулировка, описанная в пункте 2. Четвёртая точка является контрольной и находится посередине платформы построения. Если щуп или карточка проходит между соплом экструдера с тем же усилием, что и в трех предыдущих точках, калибровка 3-D принтера выполнена правильно. Если щуп или карточка свободно перемещается между соплом экструдера и платформой построения, без каких-либо усилий, или не помещается в зазор между платформой построения и соплом экструдера, необходимо произвести калибровку заново, начиная с пункта 2.

#### *Выгрузка/загрузка нити*

1. Для выгрузки (извлечения) конструкционного материала из экструдера вернитесь в меню «*Utilites*», используя для этого кнопки перемещения по пунктам меню (влево/вправо), в котором выберите пункт «*Change Filament*» (Замена материала). При выборе пункта «*Unload*», нажатием кнопки «М» происходит извлечение материала из экструдера;

2. Отсоедините направляющую трубку и извлеките из неё материал;

3. При необходимости замените катушку с конструкционным материалом;

4. Пропустите материал через направляющую трубку. Важно чтобы материал был закреплена на левом кронштейне для катушек, если смотреть на заднюю панель, и катушка с материалом раскручивалась против часовой стрелки;

5. Выбрав пункт меню «*Load*», нажатием кнопки «М», включаем нагрев экструдера;

6. При нагреве экструдера до 230°С, на ЖК-мониторе будет предложено загрузить материал в экструдер. Выполняете действия указанные в сообщениях на ЖК-мониторе, до момента появления материала из сопла экструдера. Переход от одного сообщения на ЖК-мониторе к другому осуществляется нажатием кнопки «М»;

7. Вставьте направляющую трубку обратно в отверстие в верхней части экструдера, откуда она была извлечена ранее;

8. Удалите экструдированный пластик.

#### *Печать тестового объекта с SD-карты*

1. В главном меню 3-D принтера выберите пункт «*Build from SD*» используя для этого кнопки перемещения по пунктам меню (вверх/вниз) и выберите его нажатием кнопки «М». В появившемся списке выберите необходимую тестовую модель используя для этого кнопки перемещения по пунктам меню (вверх/вниз) и начните ее печать нажатием кнопки «М»;

2. В процессе печати на ЖК–дисплее будут выводиться температура экструдера, время работы 3-D принтера и ход печати объекта;

3. После завершения печати снимите изделие специальным шпателем с платформы построения;

4. Если изделие изготовлено без дефектов, то калибровка платформы построения и загрузка/выгрузка материала произведена правильно.

#### ***Отчет должен содержать:***

1. Цель и краткие теоретические сведения.

2. Изображения внешнего вида 3-D принтера MakerBot Replicator 2 с указанием основных конструктивных элементов;

3. Описание технологии печати изделий на 3-D принтере MakerBot Replicator 2 с указанием преимуществ и недостатков;

4. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;

5. Вывод по выполненной практической работе.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Какая технология применяется при создании изделий с использованием 3-D принтера MakerBot Replicator 2?

2. Какие конструкционные материалы применяются для построения изделий с использованием 3-D принтера MakerBot Replicator 2? Дайте их характеристику.

3. Укажите основные технические характеристики 3-D принтера MakerBot Replicator 2.

4. Укажите основные преимущества и недостатки 3-D принтера MakerBot Replicator 2.

5. Опишите основные этапы изготовления изделий с применением 3-D принтера MakerBot Replicator 2.

### **Практическая работа № 3. ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ 3-D ПРИНТЕРА MAKERBOT REPLICATOR 2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «MAKERBOT DESKTOP»**

**Цель работы:** изучение алгоритмов генерации управляющих программ для 3-D принтера MakerBot Replicator 2 с использованием программного обеспечения MakerBot Desktop.

**Оборудование и инструменты:** персональный компьютер с установленным программным обеспечением MakerBot Desktop.

#### ***Теоретические положения:***

Программное обеспечение MakerBot Desktop является приложением для генерации управляющих программ для 3-D принтеров фирмы MakerBot [8]. Сгенерированная управляющая программа состоит из набора команд (G-кодов), которые при ее загрузке на 3-D принтер подают сигналы на его рабочие органы (шаговые двигатели, экструдер, нагревательный элемент и др.), вследствие чего те выполняют определённые действия:

- ✓ перемещение экструдера по осям X,Y;
- ✓ перемещение платформы построения по оси Z;
- ✓ подача конструкционного материала с определённой скоростью и его нагрев до температуры плавления и др.

Для работы в программном обеспечении MakerBot Desktop необходимы следующие исходные данные:

1. STL-модель изготавливаемого изделия.
2. Марка конструкционного материала, из которого будет изготовлено изделие. Различные материалы обладают различными физическими свойствами, такими как температура плавления и вязкость, поэтому при генерации управляющей программы, в частности задании скорости перемещения экструдера и температуры нагрева материала, необходимо обращать внимание на его характеристики. Как правило, производители конструкционного материала указывают рекомендованные параметры печати.

Процесс генерации управляющей программы состоит из следующих основных этапов:

1. Загрузка STL-модели в программное обеспечение MakerBot Desktop и её пространственное размещение на платформе построения;

2. Задание параметров печати;
3. Генерация управляющей программы.

Интерфейс программного обеспечения MakerBot Desktop представлен на рисунке 3.1.

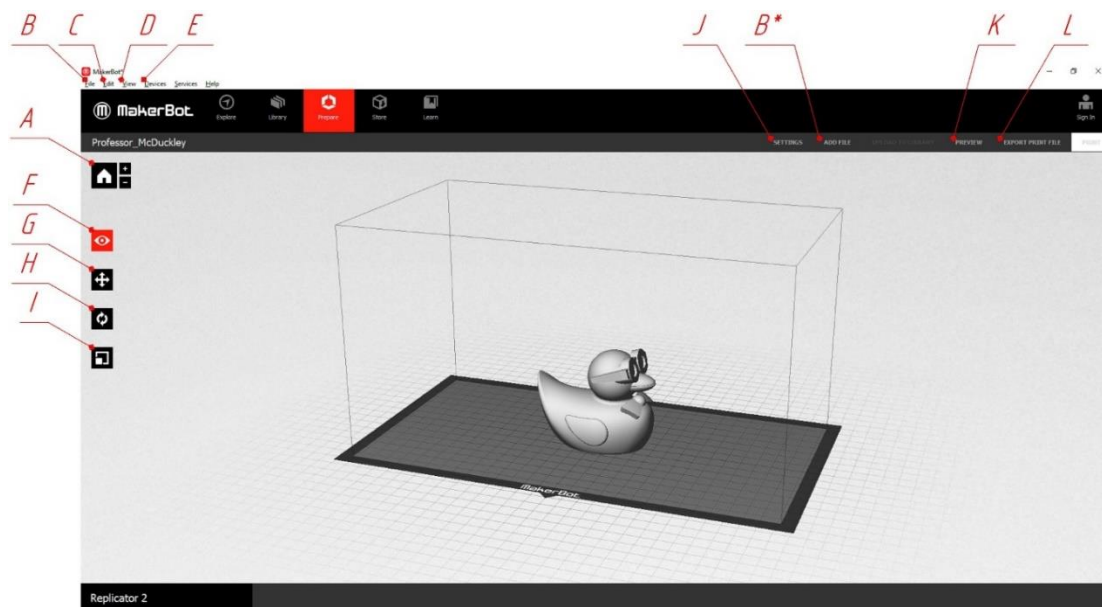


Рис.3.1. Основные элементы интерфейса MakerBot Desktop

- А. Кнопка перехода на главный вид (Изометрия);
- В. Вкладка «*File*», позволяющая создать или открыть управляющую программу, добавить модель на платформу построения. Так же можно добавить модель через «*ADD FILE*» (В\*);
- С. Вкладка «*Edit*», позволяющая производить такие манипуляции с моделями, как: копирование, вставка, вырезка, удаление и т.д;
- Д. Вкладка «*View*», позволяющая выставить один из видов камеры – используется для визуальной проверки отсутствия зазоров между моделями и платформой построения и пересечения моделей, смены ортогональной проекции на перспективную;
- Е. Вкладка «*Devices*» используется для смены модели 3-D принтера через подпункт «*Select Type Of Device*»;
- Ф. Режим управления положением камеры – в данном режиме можно выставить три вида на рабочую зону: «*Top*» (Сверху), «*Side*» (Сбоку), «*Front*» (Спереди);
- Г. Режим линейного перемещения модели;
- Н. Режим поворота модели;

- I. Режим масштабирования модели;
- J. Меню настройки параметров печати изделия;
- K. Меню предварительного просмотра и генерации управляющей программы;
- L. Кнопка сохранения сгенерированной управляющей программы для 3-D принтера.

*Загрузка STL модели в программное обеспечение MakerBot Desktop и её пространственное размещение на платформе построения*

Для редактирования объекта и его размещения на платформе построения, необходимо его выбрать, нажав на него левой кнопкой мыши, или, если объектов несколько, выделять их нажатием левой кнопки мыши с зажатой клавишей «Shift».

Основные действия, которые можно производить с 3-D моделью в программном обеспечении MakerBot Desktop, подразделяются на 3 категории:

1. Режим размещения изделия по координатам X, Y, Z – используется, когда за один сеанс печати создаётся несколько объектов (рис. 3.2).

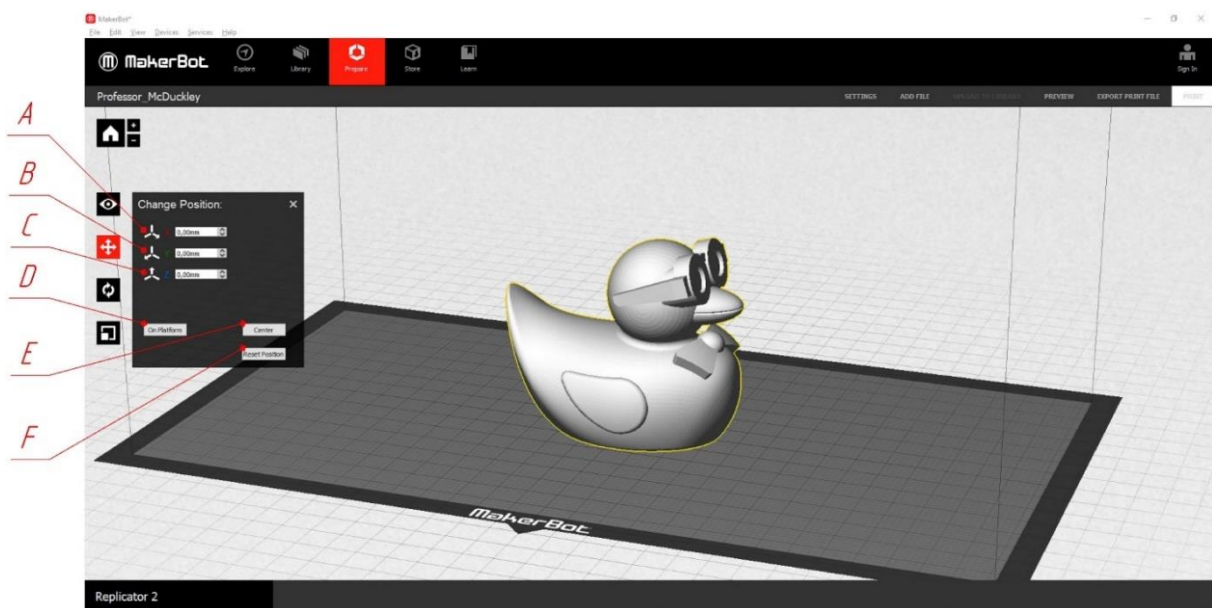


Рис.3.2. Интерфейс меню линейного перемещения модели на платформе построения

- A. Смещение модели по оси X относительно центра платформы построения (мм);



В. Смещение модели по оси Y относительно центра платформы построения (мм);

С. Смещение модели по оси Z относительно центра платформы построения (мм);

Д. Кнопка «*On Platform*», перемещающая самую нижнюю точку модели на платформу построения;

Е. Кнопка «*Center*», перемещающая модель в центр платформы построения;

Ф. Кнопка «*Reset Position*», возвращающая пространственное расположение модели, в котором она находилась на платформе построения до применения команд из данного пункта меню.

2. Режим поворота изделия относительно осей X, Y, Z – используется, когда необходимо уменьшить количество материала, затрачиваемое на создание поддержек, или получить определённые прочностные свойства изделия в определённом направлении (рис.3.3).

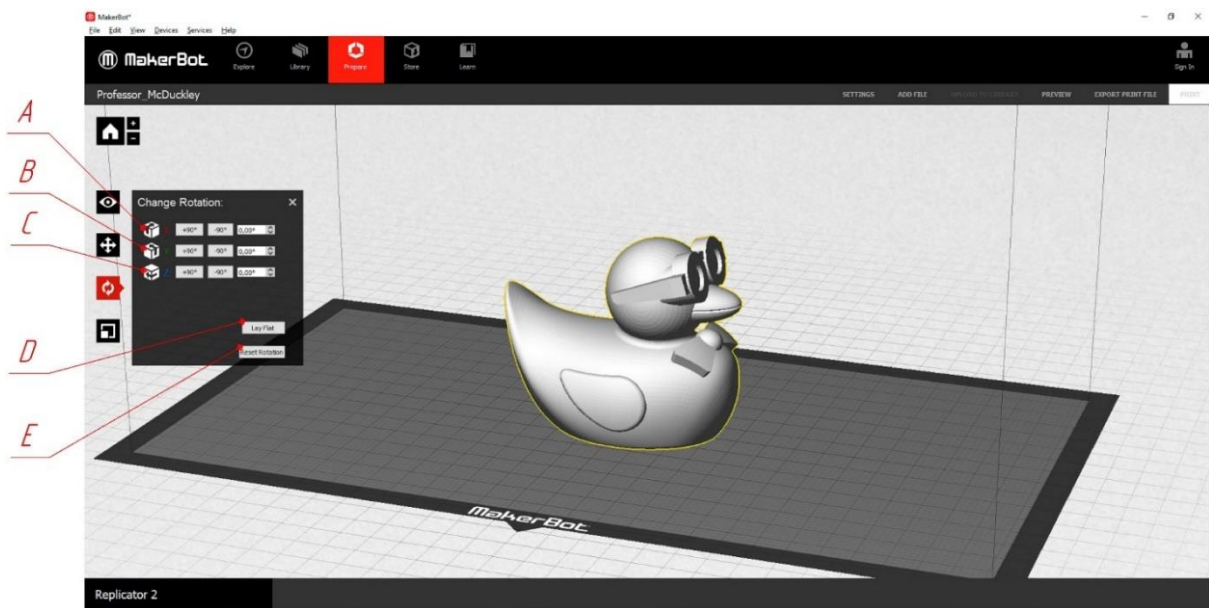


Рис.3.3. Интерфейс меню поворота модели

А. Поворот модели относительно оси X;

В. Поворот модели относительно оси Y;

С. Поворот модели относительно оси Z;

Д. Кнопка «*Lay Flat*», перемещающая самую нижнюю точку модели на платформу построения;

Е. Кнопка «*Reset Rotation*», возвращающая пространственное расположение модели, в котором она находилась на платформе построения до применения команд из данного пункта меню.

3. Режим масштабирования изделия по осям X, Y, Z (рис. 3.4) позволяет изготавливать изделия одной геометрической формы различных размеров и пропорций на основании данных одной 3-D модели.

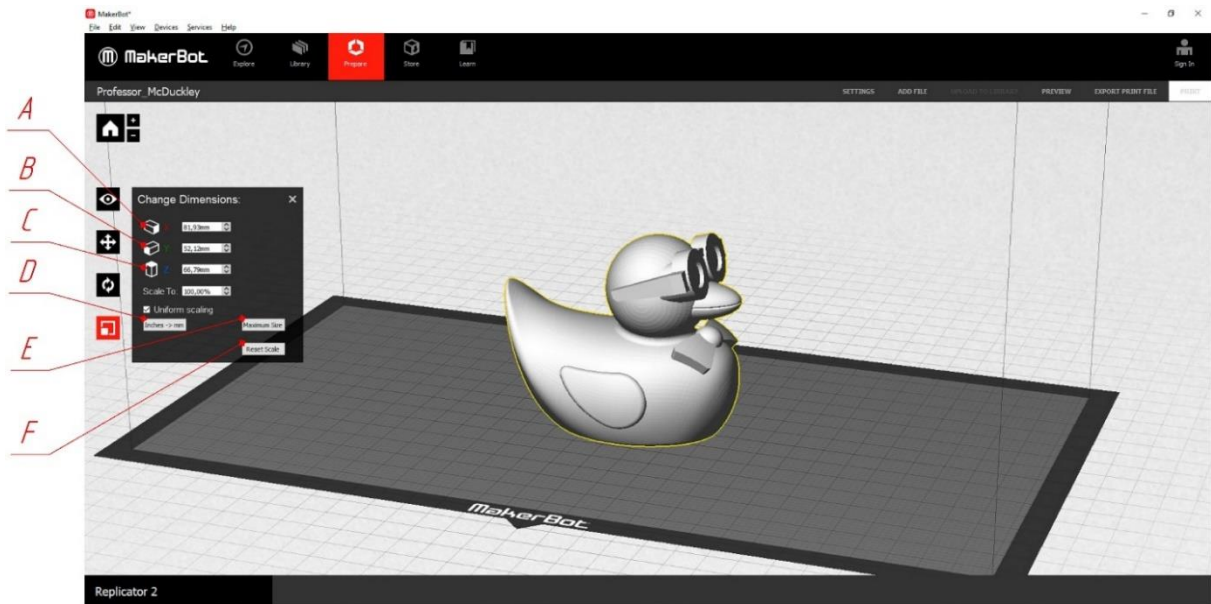


Рис.3.4. Интерфейс меню масштабирования модели

- A. Масштабирование модели относительно оси X;
- B. Масштабирование модели относительно оси Y;
- C. Масштабирование модели относительно оси Z;
- D. Кнопки «*Uniform Scaling*» (Равномерное масштабирование) и кнопка выбора размерности (дюймы/миллиметры);
- E. Кнопка «*Maximum Size*» (Максимальный размер);
- F. Кнопка «*Reset Scale*», возвращающая исходный размер изделия.

#### *Задание параметров печати*

При переходе в раздел настройки параметров печати становится доступным контекстное меню, в котором содержится два раздела: «Quick» (Быстрая настройка) и «Custom» (Тонкая настройка). Рассмотрим раздел меню «Quick» (Быстрая настройка) параметров печати (рис. 3.5).

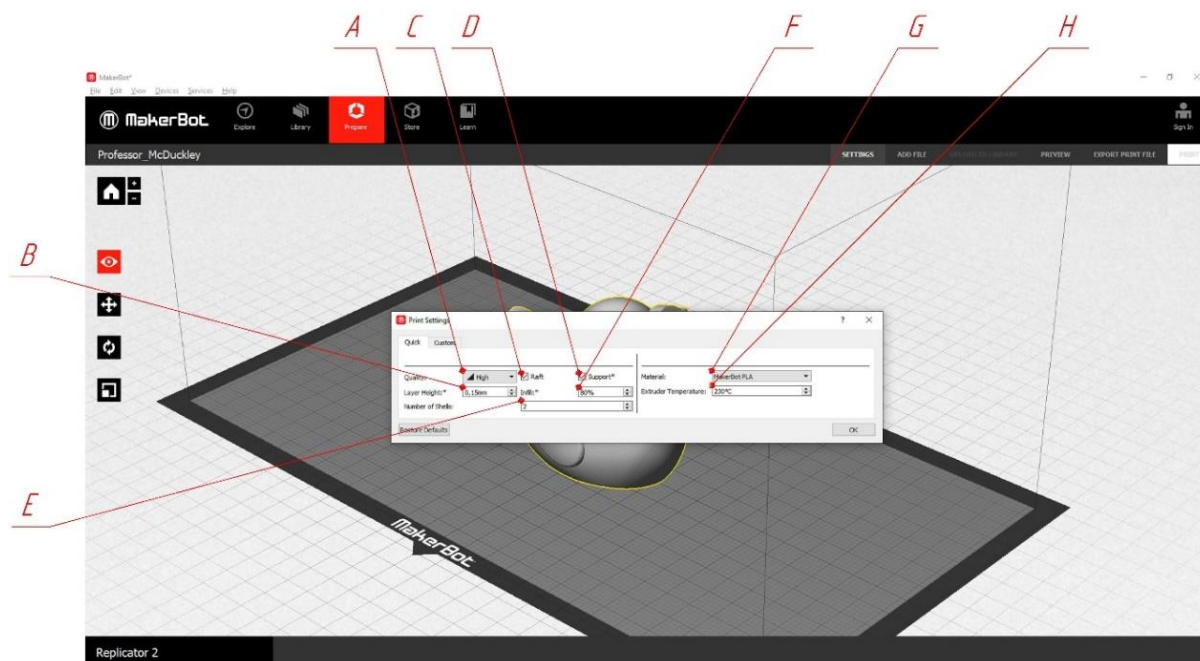


Рис.3.5. Интерфейс настройки параметров печати

А. Параметр «Quality» (Качество), содержит предустановленные настройки качества печати изделия в зависимости от толщины слоя: «High» (Высокое), «Standard» (Стандартное), «Low» (Низкое);

В. Параметр «Layer Height» (Толщина слоя);

С. Параметр «Raft» (Подложка) отвечает за наличие подложки, улучшающей адгезию (прилипание) конструкционного материала к платформе построения за счёт увеличения площади контакта между подаваемым материалом и платформой построения;

Д. Параметр «Support» (поддержка) отвечает за генерацию поддержек в местах нависающих частей модели изделия при 3-D печати;

Е. Параметр «Infill» (Заполнение) отвечает за процент заполнения внутреннего пространства 3-D модели при печати;

Ф. Параметр «Number Of Shells» (Количество слоев) отвечает за количество внешних слоёв, то есть оболочек внешнего контура модели;

Г. Параметр «Materials» (Материалы) отвечает за выбор заданного производителем материала с заранее известными свойствами. При выборе конкретного материала автоматически задаются параметры печати, такие как, скорость перемещения экструдера, температура нагрева конструкционного материала и т.д.

Н. Параметр «*Extruder Temperature*» (Температура экструдера) указывается температура плавления конструкционного материала, при отличном от стандартного значения, её можно поменять вручную.

Настройки параметров печати действуют на все 3-D модели, расположенные на платформе построения, нельзя задавать разные настройки печати для разных 3-D моделей.

#### *Меню предварительного просмотра и генерации управляющей программы*

После настройки параметров печати необходимо перейти в меню «*Preview*» (Предварительный просмотр). После этого начнется разбиение модели на сечения (слои), заданной толщины. Этот процесс называется «*Slicing*». Когда будет завершено разбиение 3-D модели, появится окно «*Preview*» (Предпросмотр печати) (рис.3.6).

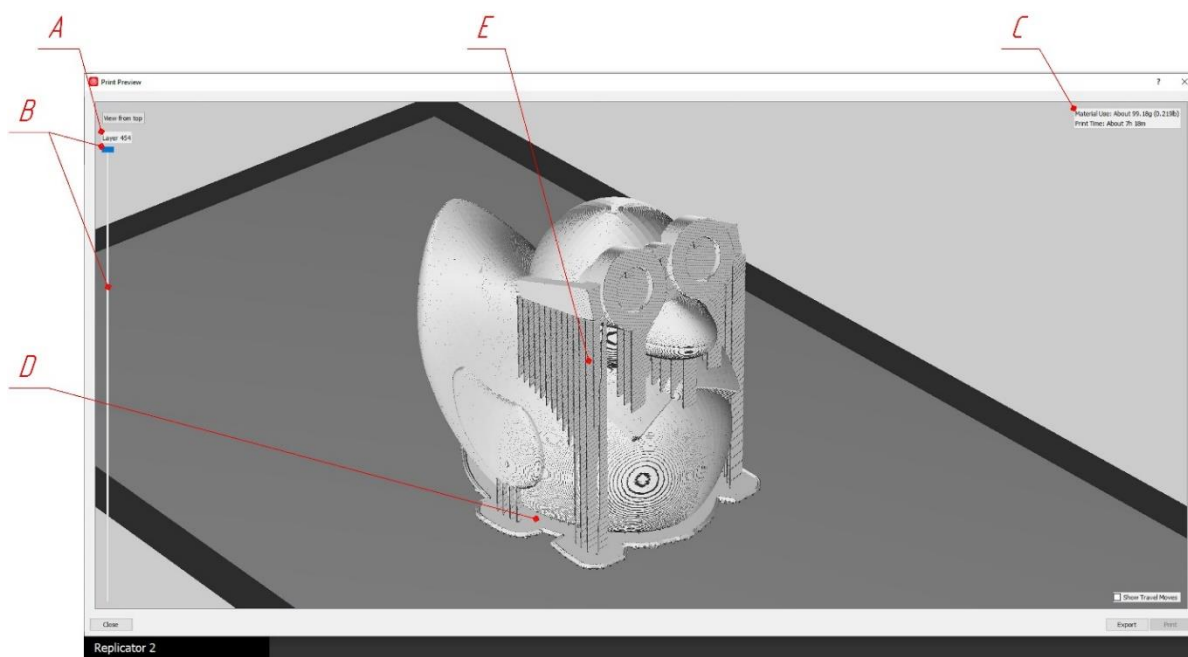


Рис.3.6. Меню «*Preview*»

А. В данном окне отображается сгенерированное количество слоёв;

В. Шкала предназначена для просмотра сечений отдельных слоёв. Перемещение по слоям осуществляется путем перемещения ползунка вверх-вниз с помощью мыши.

С. В данном окне показывается вес материала требуемого для изготовления изделия (как для самого изделия, так и для поддерживающих структур) и ориентировочное время печати;

Д. Подложка, создаваемая в предыдущем разделе в пункте С (см. рис. 3.5);

Е. Поддержки, создаваемые в предыдущем разделе в пункте Д (см. рис.3.5).

Для сохранения сгенерированной управляющей программы необходимо нажать кнопку «*Export*» в правом нижнем углу окна.

### ***Порядок выполнения работы:***

1. Открыть программное обеспечение MakerBot Desktop и выбрать в соответствующем пункте меню модель 3-D принтера MakerBot Replicator 2 в качестве используемого оборудования;

2. Расположить пять 3-D моделей на платформе построения: одна в центре, четыре по краям платформы построения (3-D модели выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем);

3. Расположить 3-D модели под разными углами относительно осей X, Y, Z (значения выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем);

4. Масштабировать 3-D модели и расположить их на платформе построения:

а. Без изменения размеров 3-D модели;

б. 110% от исходного размера 3-D модели;

с. Максимальный масштаб 3-D модели;

д. Масштабировать 3-D модель на 150% по одной из осей (несимметричное масштабирование);

5. Провести настройку оборудования для изготовления 3-D модели по следующим параметрам:

а. Толщина слоя;

б. Заполнение объёма;

с. Количество внешних оболочек;

д. Генерация поддержек;

е. Наличие подложки.

Значения указанных параметров выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем.

### ***Отчет должен содержать:***

1. Цель и краткие теоретические сведения;

2. Изображения основных элементов интерфейса MakerBot Desktop с указанием их функционального назначения;

3. Описание функционального назначения программного обеспечения MakerBot Desktop с указанием его преимуществ и недостатков;
4. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;
5. Вывод по выполненной практической работе.

***Контрольные вопросы:***

1. Укажите функциональное назначение программного обеспечения MakerBot Desktop. Какие еще программные продукты аналогичного назначения вы знаете?
2. Укажите преимущества и недостатки программного обеспечения MakerBot Desktop.
3. Опишите последовательность генерации поддерживающих элементов в программном обеспечении MakerBot Desktop. Какие параметры поддерживающих элементов доступны для изменения пользователю?
4. Опишите алгоритм генерации управляющей программы для 3-D принтера MakerBot Replicator 2 с использованием программного обеспечения MakerBot Desktop.
5. Как можно оценить оптимальное расположение изделия на платформе построения с помощью программного обеспечения MakerBot Desktop?

## **Практическая работа № 4. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ 3-D ПРИНТЕРА PROJET 1200 И АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «GEOMAGIC PRINT»**

**Цель работы:** изучение устройства, принципа работы 3-D принтера ProJet 1200 и алгоритмов генерации управляющих программ с использованием программного обеспечения Geomagic Print.

**Оборудование и инструменты:** 3-D принтер ProJet 1200, картриджи с конструкционным материалом, персональный компьютер с установленным программным обеспечением Geomagic Print.

### ***Теоретические положения:***

3-D принтер ProJet 1200 производства компании 3D Systems предназначен для изготовления высокоточных изделий малых размеров, детализированной печати мастер-моделей, используемых для создания литейных форм в ювелирной и стоматологической отрасли, а также при производстве электронных компонентов. В качестве конструкционного материала используется прочная и износоустойчивая фирменная фотополимерная смола VisiJet FTX шести различных цветов [9]. Обработка готовых моделей ультрафиолетовым светом до полного затвердевания осуществляется самим устройством, не требуя дополнительных ультрафиолетовых печей.

Технология лазерной стереолитографии основана на фотоиницированной лазерным излучением или излучением ртутных ламп полимеризации фотополимеризующейся композиции.

Данный метод отличается от других тем, что в нем используют в качестве конструкционного материала не порошки, а фотополимеры в жидком состоянии. В ёмкость с жидким фотополимером помещается сетчатая платформа построения, на которой осуществляется изготовление изделия.

С помощью этой технологии спроектированный на компьютере трёхмерный объект синтезируется из жидкой фотополимеризующейся композиции последовательными тонкими (0,05÷0,2 мм) [10] слоями, формируемыми под действием лазерного излучения на подвижной платформе построения [5]. Как правило, процессор формирования горизонтальных сечений предварительно преобразовывает описание 3D-модели будущего объекта из формата STL-файла в совокупность послойных сечений с требуемым шагом

по высоте, массив которых записывается в исполнительный файл. Данный файл представляет собой набор двумерных векторных данных, обеспечивающих последовательное управление ориентацией луча лазера посредством зеркал в процессе синтеза объекта, команды на включение лазера, перемещение платформы и др.[5].

Далее включается лазер, воздействующий на те участки фотополимера, которые соответствуют стенкам целевого объекта, вызывая их затвердевание. После этого вся платформа погружается чуть глубже, на величину, равную толщине слоя. Также в этот момент специальная щетка орошает участки, которые могли остаться сухими вследствие некоторого поверхностного натяжения жидкости. По завершении построения объект погружают в ванну со специальными составами для удаления излишков и очистки. И, наконец, финальное облучение мощным ультрафиолетовым светом для окончательного отвердевания. Как и многие другие методы 3D-печати, лазерная стереолитография требует возведения поддерживающих структур, которые вручную удаляются по завершении процесса изготовления изделия.

Лазерная стереолитография позволяет в кратчайшие сроки (от нескольких часов до нескольких дней) пройти путь от конструкторской или дизайнерской идеи до готовой модели детали.

Из-за выборочного отвердевания фотополимера на компоненты и технологию процесса накладываются жесткие двусторонние ограничения. Например, чем гуще смола изначально, тем легче её перевести в полимерное состояние, но и тем хуже её гидромеханические качества. Для чрезмерно жидкого фотополимера требуется больше времени на успокоение его поверхности после перемещения платформы.

Чем мощнее введенный в смолу фотоинициатор, тем меньше времени нужно слабому лазеру для засветки, но и тем меньше время жизни у всего объема смолы, так как он подвержен фоновой засветке.

Основным отличием производителей лазерных стереолитографов являются указанные выше характеристики, так как в целом, устройство и принцип действия таких машин идентичны. В любом SLA-принтере возможно применение любого расходного материала после соответствующей настройки параметров технологического процесса. Одно из преимуществ 3D-печати методом SLA – скорость, составляющая в среднем  $4\div 7$  мм/час по высоте изделия (зависит от загрузки рабочей платформы и шага построе-



ния). Один из производителей оборудования для стереолитографии – компания 3D Systems (США), – предлагает машины с размерами камеры построения от 250x250x250 мм до 1500x750x500 мм. Компания Materialise (Бельгия) создала аппарат, способный создавать объекты размером до двух метров.

Основными областями применения изделий, полученных на данных 3-D принтерах, являются:

- ✓ создание конструкторских и дизайнерских прототипов, макетов различных изделий и сборок;
- ✓ изготовление формообразующей оснастки для различных видов точного литья;
- ✓ создание моделей для изготовления формообразующей оснастки из других материалов.
- ✓ создание мастер-моделей при изготовлении электродов для электроэрозионной обработки;
- ✓ восстановление объектов по данным рентгеновской, акустической или магнитно-резонансной томографии в медицине, криминалистике, археологии и др.
- ✓ изготовление микрооптики из прозрачных пластических материалов, в том числе для видеокамер.

Для изготовления изделий 3-D принтер ProJet 1200 использует технологию Micro-SLA, разработанную компанией 3D Systems. Технология получила название Micro-SLA в связи с тем, что такой способ печати возможно проводить только с использованием небольшой платформы построения. Принцип изготовления изделий при использовании данной технологии аналогичен технологии SLA (Stereolithography – лазерная стереолитография), за исключением того, что в данной модели оборудования используется обратная компоновка, и построение модели происходит сверху вниз:

1. Картридж с жидким фотополимером поднимается до уровня платформы построения, таким образом, чтобы верхний слой полимера соприкасался с поверхностью платформы построения;
2. Ультрафиолетовое излучение засвечивает заданное сечение модели, отверждая слой полимера;
3. После отверждения, картридж с жидким фотополимером опускается на расстояние, соответствующее толщине слоя, после чего снова происходит отверждение слоя ультрафиолетовым излучением;

4. Процесс, описанный в пункте три, повторяется до тех пор, пока не будут пройдены все сечения модели;

5. После изготовления изделия, его помещают в камеру дополимеризации, где он окончательно отверждается под действием ультрафиолетового излучения.

Технические характеристики 3-D принтера ProJet 1200 и физико-механические свойства материалов серии VisiJet FTX представлены в таблице 4.1, а компоновка приведена на рисунке 4.1 [11].

Таблица 4.1

Технические характеристики 3-D принтера ProJet 1200 и физико-механические свойства материалов серии VisiJet FTX

Размер камеры построения (хуз), мм	43x27x180
Разрешение печати (ху), мкм	56
Толщина слоя, мкм	30
Вертикальная скорость построения, мм/час	14
Материалы	VisiJet FTX Green VisiJet FTX Cast VisiJet FTX Gray VisiJet FTX Clear VisiJet FTX Silver VisiJet FTX Gold
Упаковка материала	Картридж
Вес картриджа, г	30
Габариты оборудования, мм	230x230x365
Масса оборудования, кг	9
Напряжение электропитания, В	220
Свойства материалов VisiJet FTX	
Плотность при 80°C (жидкое состояние), г/см <sup>3</sup>	1,02
Предел прочности, МПа	30
Модуль упругости, МПа	1700
Удлинение при разрыве, %	10
Прочность на изгиб, МПа	40
Зольный остаток, %	0,01

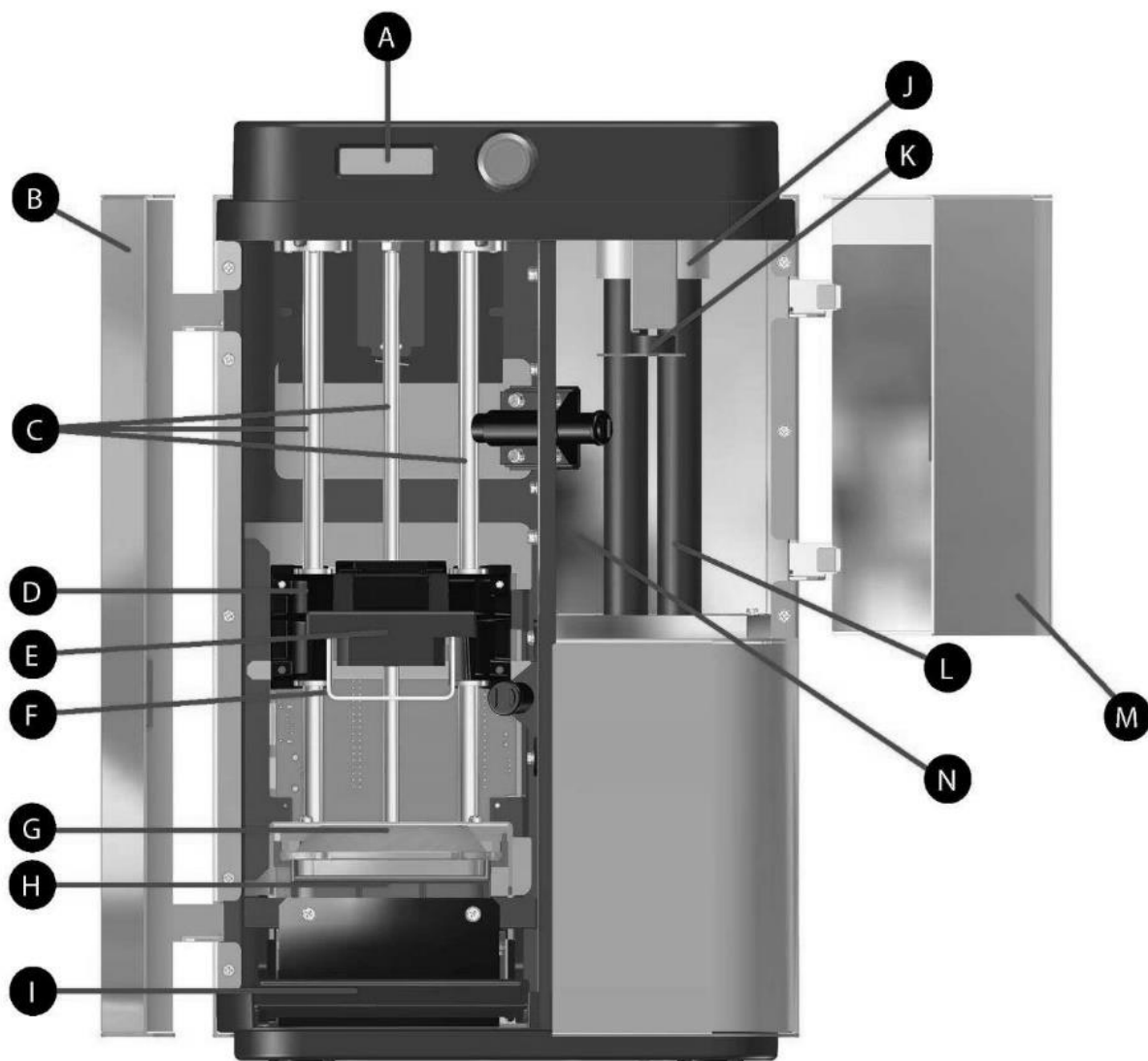


Рис.4.1. Внешний вид 3-D принтера ProJet 1200

- A. Жидкокристаллический дисплей;
- B. Дверца камеры построения;
- C. Направляющие подъёмного механизма;
- D. Подъёмный механизм;
- E. Зажим для фиксации платформы построения;
- F. Платформа построения;
- G. Зажим для фиксации картриджа с материалом;
- H. Держатель картриджа конструкционным материалом;
- I. Рычаг зажимного картриджа;
- J. Цоколь ультрафиолетовой лампы отверждения;
- K. Вращающийся механизм камеры отверждения;

- L. Ультрафиолетовая лампа отверждения;
- M. Дверь камеры отверждения;
- N. Камера отверждения.

Программное обеспечение для 3-D принтера ProJet 1200 носит название Geomagic Print [12] и позволяет производить следующие действия с 3-D моделью при подготовке ее к печати:

1. Перемещение вдоль осей X, Y, Z;
2. Поворот вдоль осей X, Y, Z;
3. Масштабирование (как пропорциональное, так и вдоль осей X, Y, Z);
4. Автоматическая и ручная генерация поддержек (ручная генерация состоит в указании места крепления и толщины поддержки);
5. Управление камерой дополимеризации.

Интерфейс вкладки «Home» (Главная страница) программного обеспечения Geomagic Print показан на рисунке 4.2.

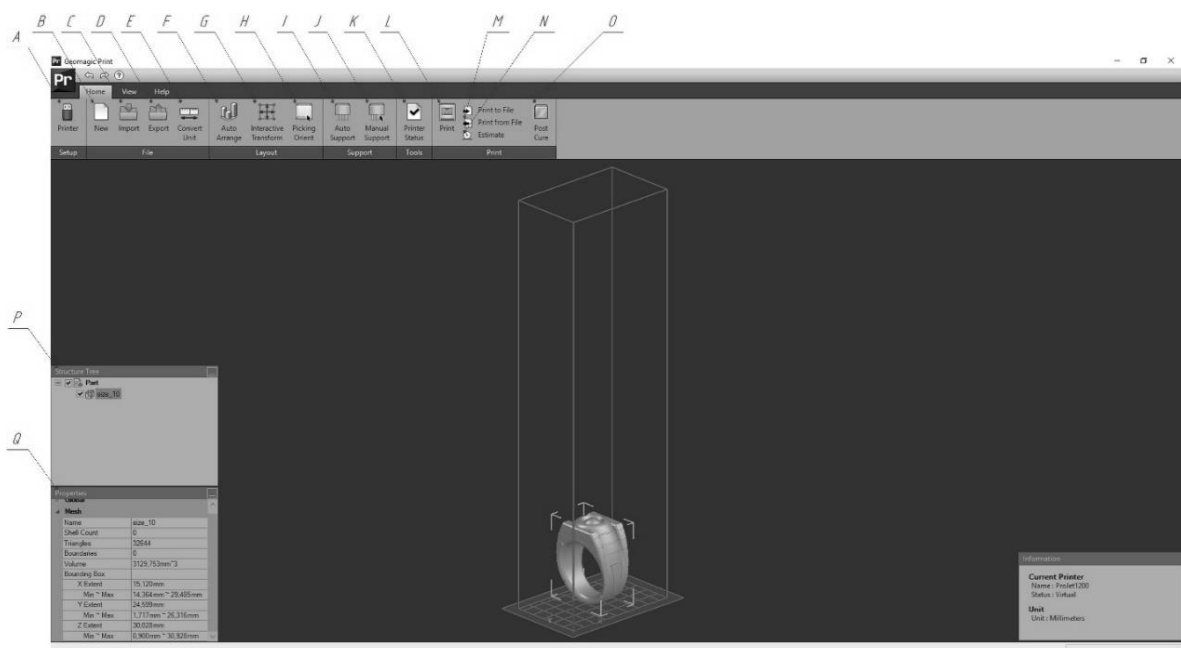


Рис.4.2. Интерфейс вкладки «Home»

- A. *Printer* – Подключения принтера. Если принтер подключить невозможно, необходимо создать виртуальное подключение, чтобы отобразилось рабочее пространство принтера;
- B. *New* – Создание нового проекта;
- C. *Import* – Загрузка модели для размещения на платформе построения
- D. *Export* – Выгрузка (передача) модели в другой формат файла;

- E. *Convert Unit* – Задание единиц измерения (мм/дюймы). При изменении единиц измерения размеры не пересчитываются (1 мм → 1 дюйм);
- F. *Auto Arrange* – Автоматическое размещение модели;
- G. *Interactive Transform* – Ручное редактирование модели и её положения (рис.4.3). Изменение характеристик происходит.

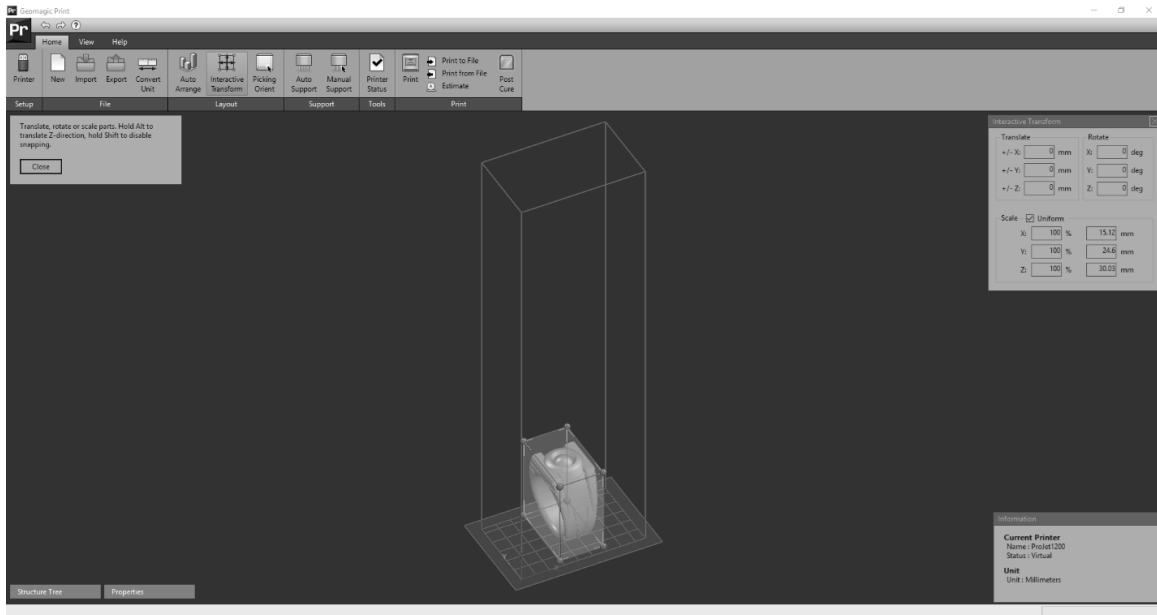


Рис.4.3. Интерфейс вкладки «Interactive Transform»

- H. *Picking Orient* – Данная функция выставляет точку на модели, которую выберет пользователь) касательно к столу построения;
- I. *Auto Support* – Автоматическое создание поддержек (рис.4.4.);

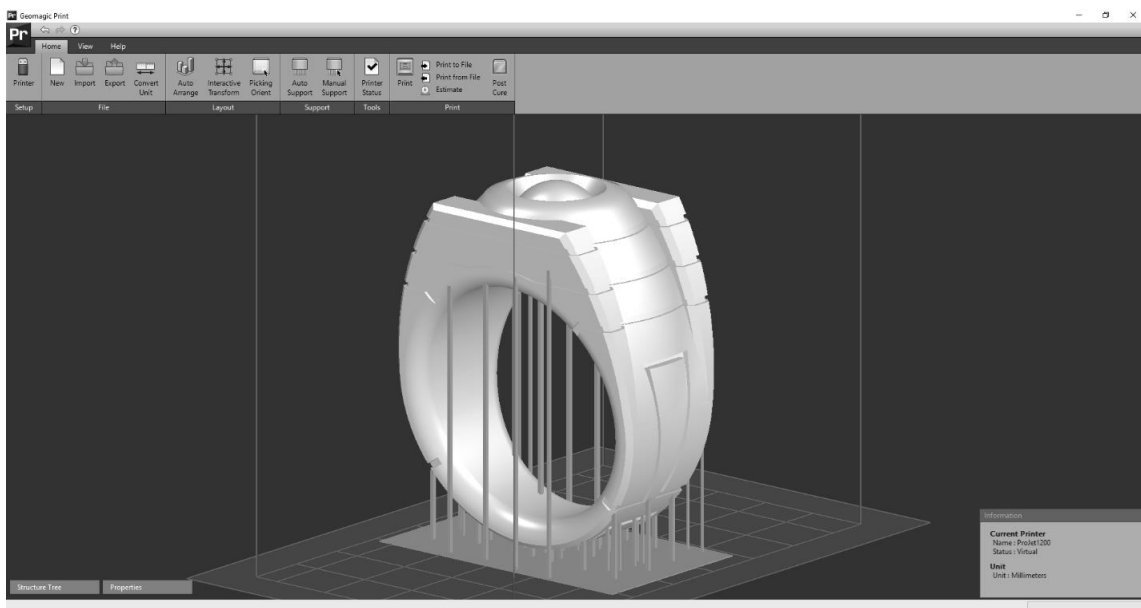


Рис.4.4. Автоматическая генерация поддержек при использовании функции «Auto Support»

J. *Manual Support* – Ручное создание поддержек (рис.4.5). Данная функция позволяет указывать места крепления поддержек и изменять их толщину. Подложка создаётся автоматически;

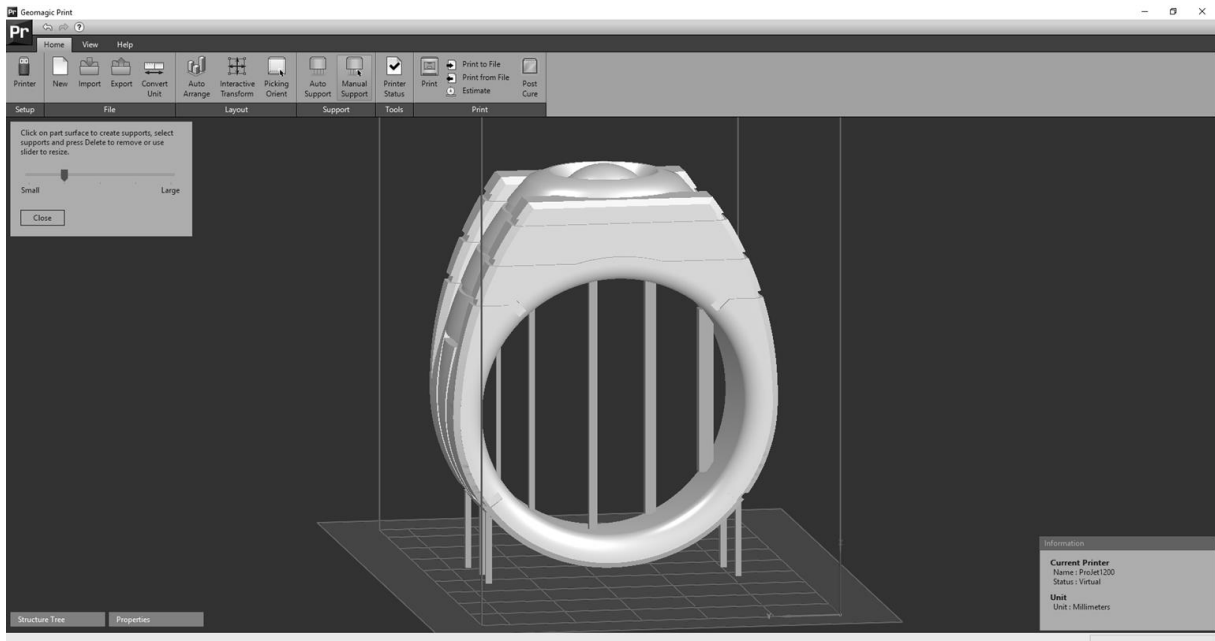


Рис.4.5. Ручная генерация поддержек при использовании функции «Manual Support» (внутри кольца слева направо идёт увеличение толщины поддержек)

K. *Printer Status* – Данная вкладка позволяет отслеживать состояние принтеров;

L. *Print* – Отправка изделия на печать;

M. *Print to File* – Сохранение УП для печати как отдельный файл;

*Print from File* – Загрузка УП для печати из файла;

N. *Estimate* – Расчёт времени печати;

O. *Post Cure* – Включение/выключение УФ лампы в камере дополимеризации;

P. *Structure Tree* – Дерево моделей;

Q. *Properties* – Свойства, показывающие информацию как о всех моделях (*Global*), так и об отдельно взятой (*Mesh*).

Интерфейс вкладки «View» (Вид) предназначен для просмотра рабочего пространства и ориентации моделей на платформе построения. Основные элементы вкладки «View» (Вид) указаны на рисунке 4.6.

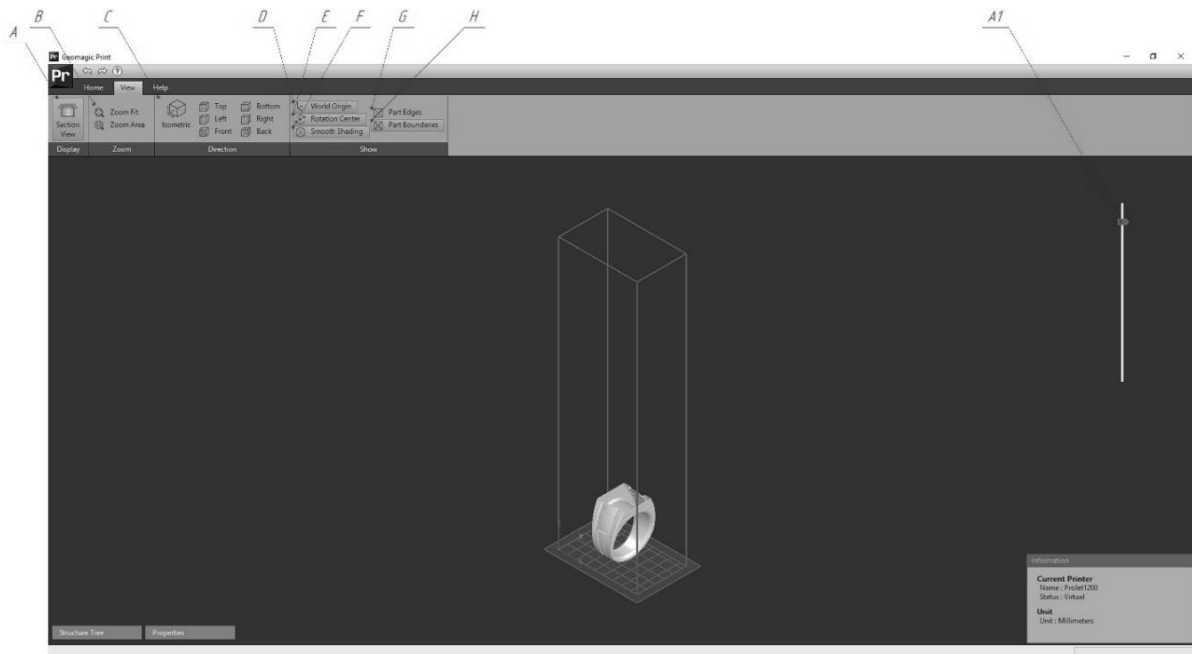


Рис.4.6. Интерфейс вкладки «View»

A. *Section View* – Данная функция позволяет просматривать сечения, перемещая шкалу в правом верхнем углу рабочего окна (A1)

B. Панель *Zoom* состоит из двух составляющих:

*Zoom Fit* – приближение камеры по выбранной области;

*Zoom Area* – приближение камеры к выбранной модели;

C. Панель *Direction* – выбор одного из нескольких видов рабочей зоны;

D. *World Origin* – скрыть/отобразить начало координат;

E. *Rotation Center* – скрыть/отобразить центр вращения камеры;

F. *Smooth Shading* (Плавное Затемнение) – изменение отображения рабочего пространства;

G. *Part Edges* – скрыть/отобразить грани модели;

H. *Part Boundaries* – скрыть/отобразить границы модели.

Чтобы задать материал, необходимо перейти по пути: кнопка “Pr” (верхний левый угол экрана) – *Preferences* и указать нужный в пункте *Materials* (рис.4.7). Так же можно менять минимальную толщину поддержек в строке *Minimum Support Height*.

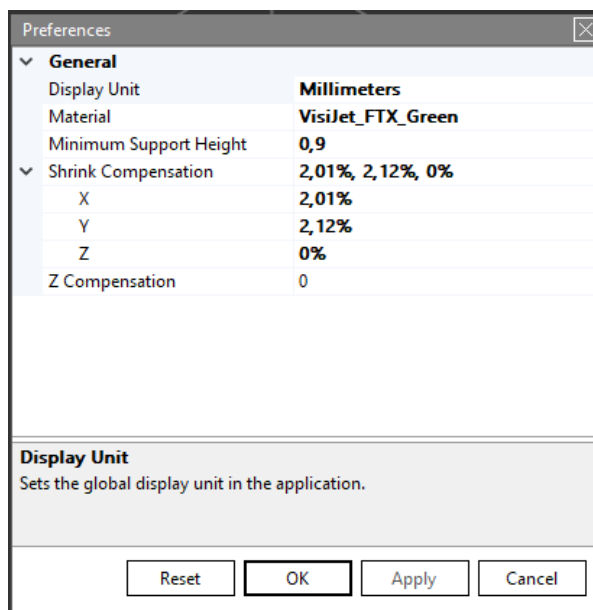


Рис.4.7. Интерфейс вкладки «Preferences»

***Порядок выполнения работы:***

1. Ознакомиться с теоретической частью, касающейся устройства и принципа работы 3-D принтера ProJet 1200;
2. Открыть программное обеспечение Geomagic Print и выбрать в соответствующем пункте меню модель 3-D принтера ProJet 1200 в качестве используемого оборудования;
3. Расположить пять 3-D моделей на платформе построения: одна в центре, четыре по краям платформы построения (3-D модели выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем);
4. Расположить 3-D модели под разными углами относительно осей X, Y, Z (значения выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем);
5. Масштабировать и расположить детали
  - a. Без изменения размеров 3-D модели;
  - b. 110% от исходного размера 3-D модели;
  - c. Максимальный масштаб 3-D модели;
  - d. Масштабировать 3-D модель на 150% по одной из осей (несимметричное масштабирование);
6. Сгенерировать поддержки в автоматическом и ручном режимах, а также управляющую программу для 3-D принтера ProJet 1200.

***Отчет должен содержать:***



1. Цель и краткие теоретические сведения;
2. Изображения внешнего вида 3-D принтера ProJet 1200 с указанием основных конструктивных элементов;
3. Описание технологии печати изделий на 3-D принтере ProJet 1200 с указанием преимуществ и недостатков;
4. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;
5. Вывод по выполненной практической работе.

***Контрольные вопросы:***

1. Какая технология применяется при создании изделий с использованием 3-D принтера ProJet 1200?
2. Какие конструкционные материалы применяются для построения изделий с использованием 3-D принтера ProJet 1200? Дайте их характеристику.
3. Укажите основные технические характеристики 3-D принтера ProJet 1200.
4. Укажите основные преимущества и недостатки 3-D принтера ProJet 1200.
5. Опишите основные этапы изготовления изделий с применением 3-D принтера ProJet 1200.
6. Укажите функциональное назначение программного обеспечения Geomagic Print. Какие еще программные продукты аналогичного назначения вы знаете?
7. Укажите преимущества и недостатки программного обеспечения Geomagic Print.
8. Опишите последовательность генерации поддерживающих элементов в программном обеспечении Geomagic Print.
9. Опишите алгоритм генерации управляющей программы для 3-D принтера ProJet 1200 с использованием программного обеспечения Geomagic Print.
10. Как можно оценить оптимальное расположение изделия на платформе построения с помощью программного обеспечения Geomagic Print?

## **Практическая работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ 3-D ПРИНТЕРА OBJET30 PRO И АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «OBJET STUDIO»**

**Цель работы:** изучение устройства, принципа работы 3-D принтера Objet 30 Pro и алгоритмов генерации управляющих программ с использованием программного обеспечения Objet Studio.

**Оборудование и инструменты:** 3-D принтер Objet 30 Pro, картриджи с конструкционным материалом, персональный компьютер с установленным программным обеспечением Objet Studio.

### ***Теоретические положения:***

3-D принтер Objet 30 Pro – это настольная модель, работающая с девятью типами материалов, что качественно расширяет области использования этого профессионального оборудования. Оно позволяет создавать изделия с высокой детализацией и сравнительно большого объема. Технические характеристики 3-D принтера Objet 30 Pro представлены в таблице 5.1 [13].

3-D принтер Objet 30 Pro работает по технологии PolyJet – технология 3D-печати, основанная на послойном отверждении жидкого фотополимерного материала под воздействием ультрафиолетового излучения [14]. Уникальные возможности этого 3-D принтера позволяют изготавливать модели в различных цветовых решениях и их сочетаниях, а также регулировать уровень их жесткости за счет применения материалов с разными физико-механическими свойствами (табл. 5.2). Данная модель 3-D принтера оснащена двумя печатающими головками, которые имеют возможность одновременной подачи конструкционного материала и материала поддержки. Лампа, выступающая в качестве источника ультрафиолетового света, благодаря своей особой конструкции, обеспечивает максимальную точность трёхмерной печати.

Использование фотополимера, отверждающегося под воздействием ультрафиолетовых лучей, гарантирует изготовление изделий с тонкими стенками, узлов и механизмов с движущимися деталями в виде сборки. Реалистичность изготовленных изделий обусловлена возможностью работы с различными типами материалов, включая прозрачные и термостойкие полимеры.

Таблица 5.1

## Технические характеристики 3-D принтера Objet 30 Pro

Размер камеры построения (xyz), мм	300 × 200 × 150	
Размер области построения (xyz), мм	294 x 192 x 148,6	
Разрешение печати (xy), dpi	600	
Разрешение печати (z), dpi	900	
Толщина слоя, мкм	28 (16 для материала VeroClear)	
Вертикальная скорость построения, мм/час	20	
Материалы	конструкционные	поддержки
	VeroWhitePlus	SUP705
	VeroBlackPlus	SUP706
	VeroBlue	
	VeroGrey	
	VeroClear	
	RGD525	
	DurusWhite	
	Rigur	
DraftGrey		
Входной формат файлов	STL, OBJDF, SLC	
Программное обеспечение	Objet Studio, GrabCAD Print	
Упаковка материала	Картридж	
Габариты оборудования, мм	826×600×620	
Масса оборудования, кг	93	

Принцип изготовления изделий при использовании технологии PolyJet включает следующие этапы:

1. Печатающая головка движется вдоль платформы построения, разбрызгивая на ее поверхности конструкционный материал детали и материал поддержек толщиной 28 мкм (16 мкм для материала VeroClear);

2. На стороне печатающей головки, обратной к направлению движения, закреплена ультрафиолетовая лампа, отверждающая наносимый слой фотополимера;

3. После построения всего сечения, печатающая головка возвращается в своё начальное положение, а платформа построения опускается на толщину одного слоя (28 мкм для всех материалов или 16 мкм для материала VeroClear);

4. Процесс, описанный в пунктах 1 – 3, повторяется до тех пор, пока не будут пройдены все сечения модели.

Таблица 5.2

## Физико-механические свойства материалов серии Vero

	Vero White Plus	Vero Black Plus	Vero Blue	Vero Grey	Vero Clear
Плотность полимеризации, г/см <sup>3</sup>	1,17÷1,18				1,18÷1,19
Предел прочности на разрыв, МПа	50÷65		50÷60		50÷65
Модуль упругости при растяжении, МПа	2000÷3000				
Относительное удлинение при разрыве, %	10÷25				
Модуль упругости при изгибе, МПа	2200-3200		1900-2500		2200-3200
Предел прочности на изгиб, МПа	75-110		60-70		75-110
Ударная вязкость по Изоду (с надрезом), Дж/м	20-30				
Твердость по Шору, D, A	83-86				
Зольность, %	0,23-0,26		0,01-0,02		0,02-0,06

Пространственная компоновка 3-D принтера Objet 30 Pro приведена на рисунке 5.1.

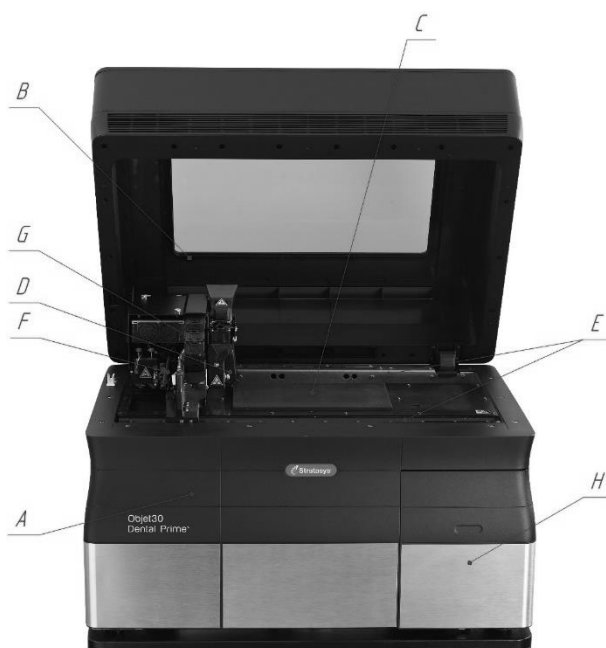


Рис.5.1. Внешний вид 3-D принтера Objet 30 Pro:

1. Корпус 3-D принтера;
2. Крышка принтера с окном, не пропускающим ультрафиолетовое излучение;
3. Платформа построения;

4. Блок печатающих головок с ультрафиолетовой лампой;
5. Направляющие, по которым перемещается блок с печатающими головками;
6. Шарико-винтовая передача;
7. Канал подвода конструкционного материала;
8. Отсек для загрузки картриджей с конструкционным материалом и материалом поддержки.

Программное обеспечение для 3-D принтера Objet 30 Pro называется «Objet Studio» [15] и позволяет производить следующие действия с 3-D моделью при подготовке ее к печати:

1. Перемещение вдоль осей X, Y, Z;
2. Поворот вдоль осей X, Y, Z;
3. Масштабирование (как пропорциональное, так и вдоль осей X, Y, Z);
4. Задание толщины оболочки при полый печати и характеристик сетки заполнения.

Интерфейс программного обеспечения Objet Studio и его основные элементы показаны на рисунках 5.2 – 5.10.

Для добавления 3-D модели на платформу построения, необходимо нажать кнопку *Insert* (рис.5.3, A1), с последующим указанием пути к файлу модели. При выборе 3-D модели высвечивается диалоговое окно (рис.5.2), в котором отображаются:

- A. *Unit* – Размерность единиц измерения (мм/дюймы);
- B. *Width* – Размер вдоль оси X;
- C. *Depth* – Размер вдоль оси Y;
- D. *Height* – Размер вдоль оси Z;
- E. Окно отображения внешнего вида модели.

Так же можно изменять:

A. Ориентацию модели (автоматическая/неавтоматическая – при автоматической настройке программное обеспечение расположит 3-D модель таким образом, чтобы меньше материала затрачивалось на создание поддержек);

B. Количество копий 3-D модели, которые будут добавлены на платформу построения;

При нажатии на кнопку вывода дополнительных параметров (G1), возможно расширенное редактирование расположения 3-D моделей на платформе построения:

- A. *Delta* – Выставление шага между моделями по осям X, Y, Z;

В. *Mirror* – Зеркальное отображение 3-D моделей относительно плоскостей, перпендикулярных осям X, Y, Z;

С. *Flip* – Поворот на  $180^\circ$  относительно осей X, Y, Z.

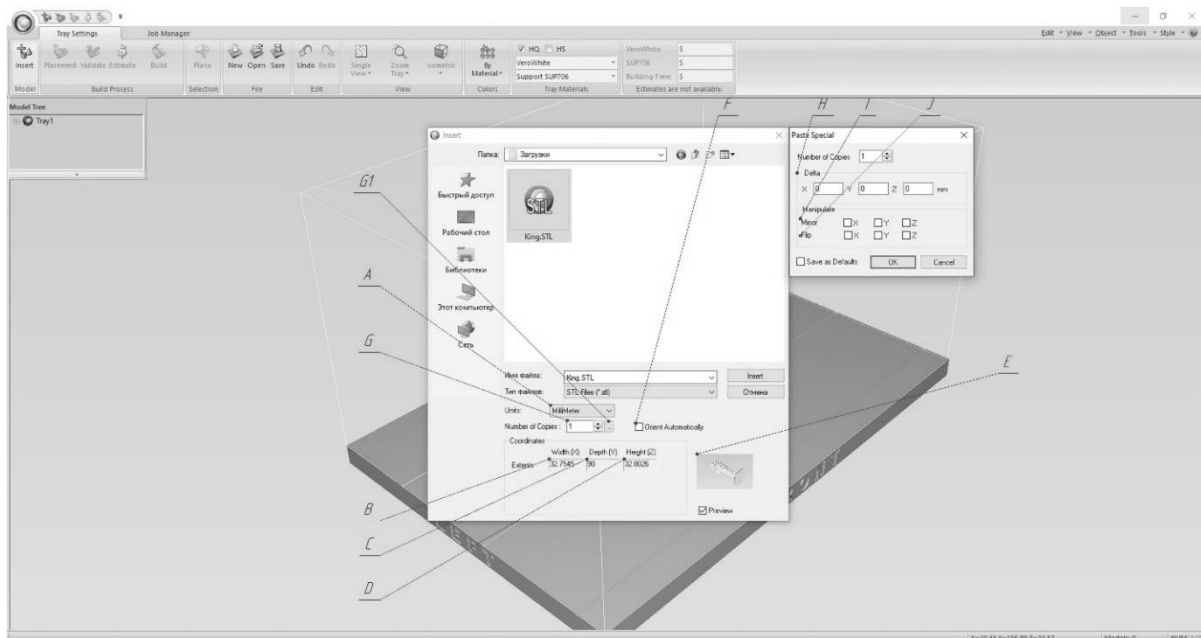


Рис.5.2. Интерфейс добавления 3-D модели на платформу построения

После добавления 3-D модели на платформу построения становятся доступны для использования следующие функции (рис.5.3):

А. *Model Tree* – Просмотр списка моделей, размещённых на платформе построения;

В. А1. *Insert* – Открытие меню добавления новых 3-D моделей на платформу построения;

С. *Placement* – Функция авторазмещения моделей 3-D моделей на платформе построения;

Д. *Validate* – Проверка возможности печати 3-D моделей в заданных условиях;

Е. *Estimate* – Расчёт массы материалов и времени печати. Под объёмом понимается вес самого изделия и поддержек. Результаты расчёта отображаются в окне L;

Ф. *Build* – Начало печати;

Г. *Plane* – Данная функция позволяет выбирать плоскость, касательную к поверхности модели, и располагать её определённым образом относительно на платформы построения (рис.5.4 – 5.6);

Н. Данная вкладка позволяет выбирать количество окон, в которых отображается рабочее пространство 3-D принтера (по умолчанию стоит Single View – один вид, режим 4 Views показан на рис. 5.7);

И. Данная вкладка позволяет выбирать один из десяти стандартных видов отображения 3-D модели;

Ж. Данная вкладка позволяет изменять цветовое отображение 3-D модели;

К. В данной вкладке задаётся марка конструкционного материала;

Л. В данной вкладке задаётся марка материала поддержек;

М. В данном окне выводятся результаты расчёта объёмов и времени печати.

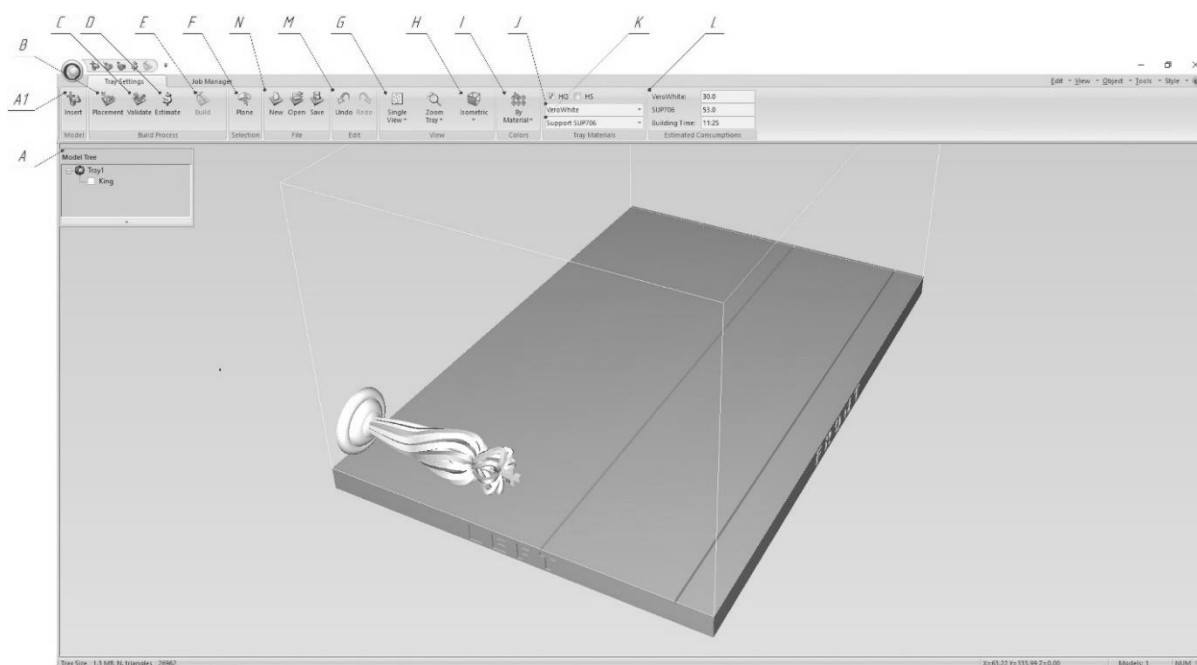


Рис.5.3. Элементы основного интерфейса программного обеспечения Objet Studio

Н. Панель *Edit: New* – Создание нового файла; *Open* – Открытие существующего файла; *Save* – Сохранение текущего файла.

О. Панель управления файлом: *Undo* – Отмена предыдущего действия; *Redo* – Повторение последнего действия.

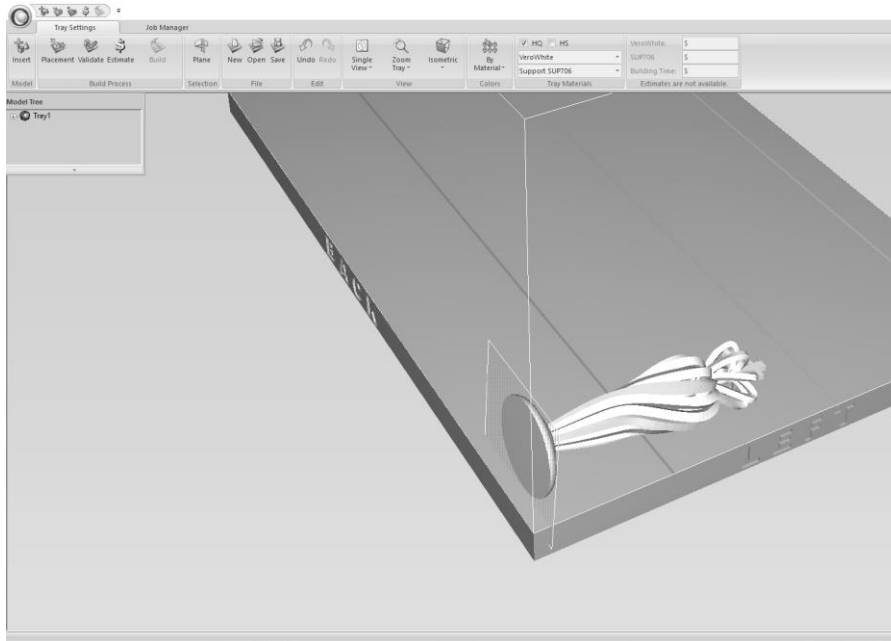


Рис.5.4. Задание плоскости с помощью функции Plane

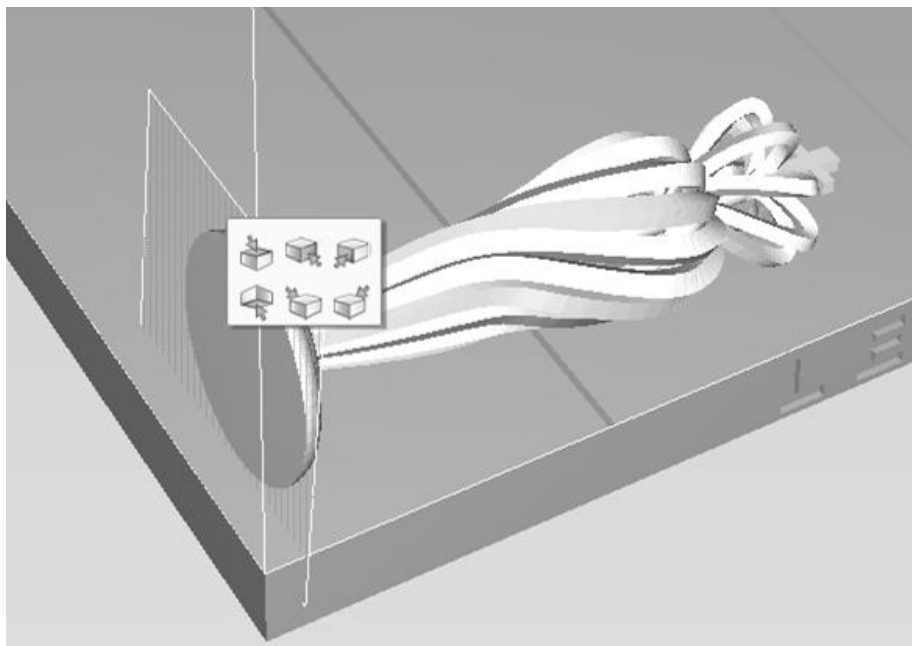


Рис.5.5. Варианты расположения выбранной плоскости относительно поверхности на платформы построения



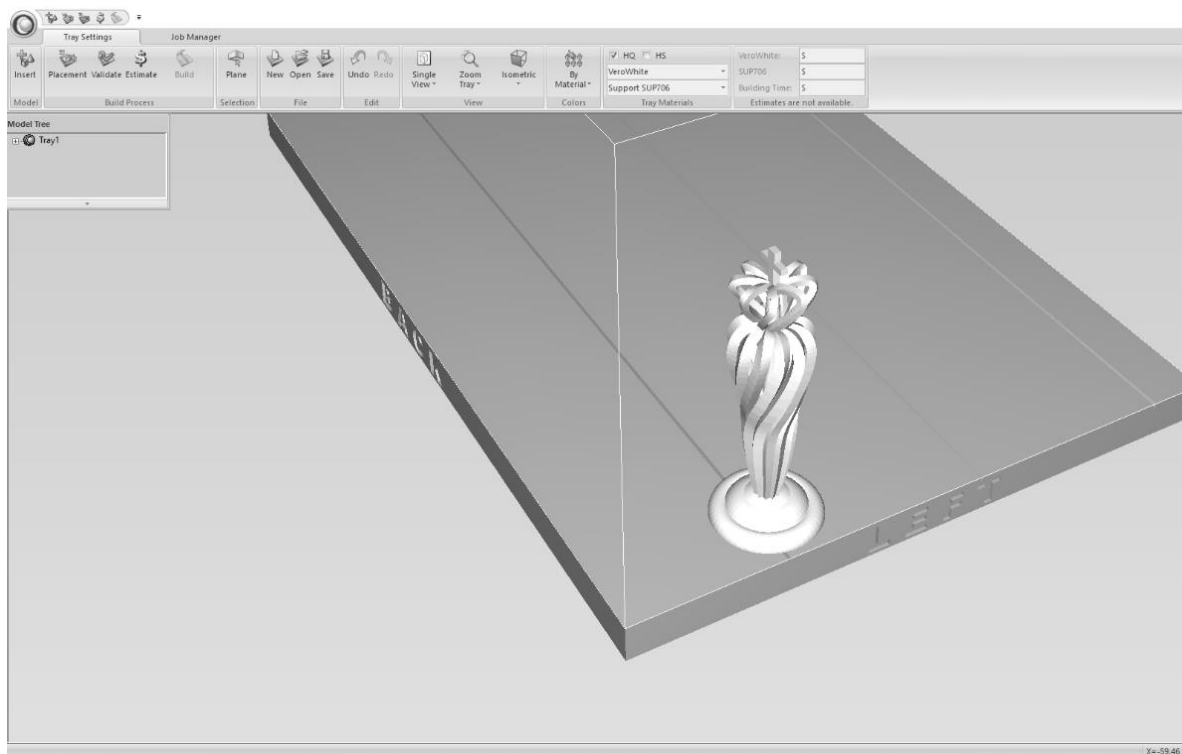


Рис.5.6. Результат использования функции Plane

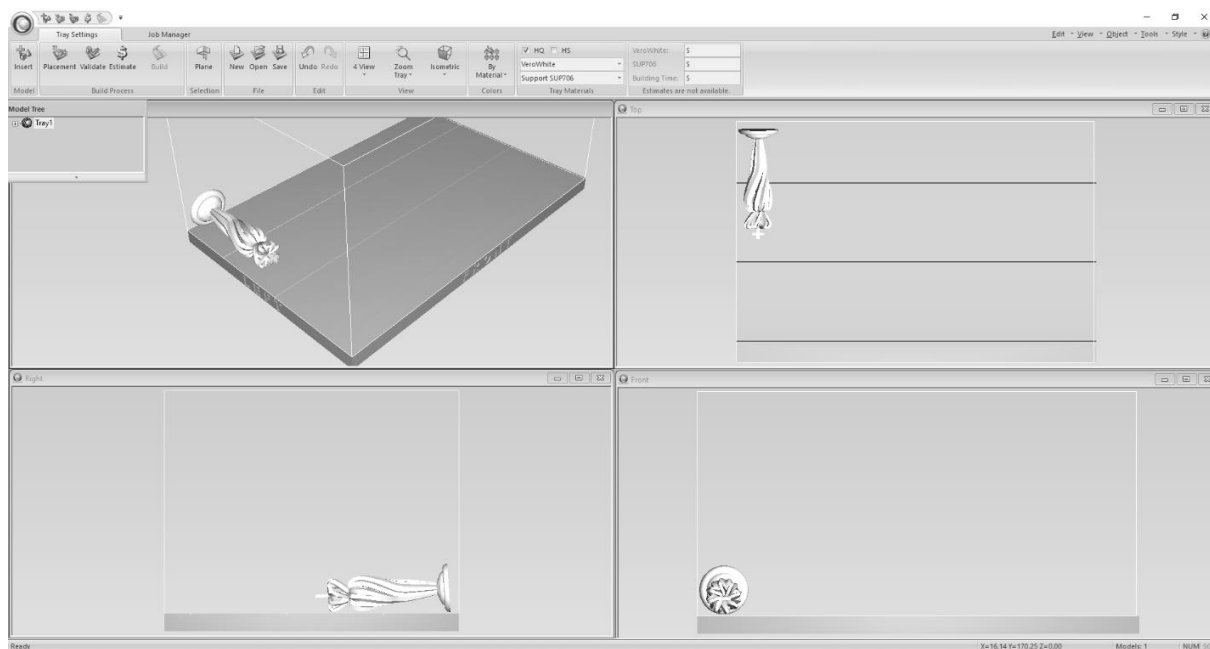


Рис.5.7. Режим 4 Views

При нажатии на 3-D модель, открывается вкладка *Model Setting* (Настройки Модели), позволяющая производить преобразование отдельной 3-D модели. Основные элементы интерфейса показаны на рисунке 5.8.

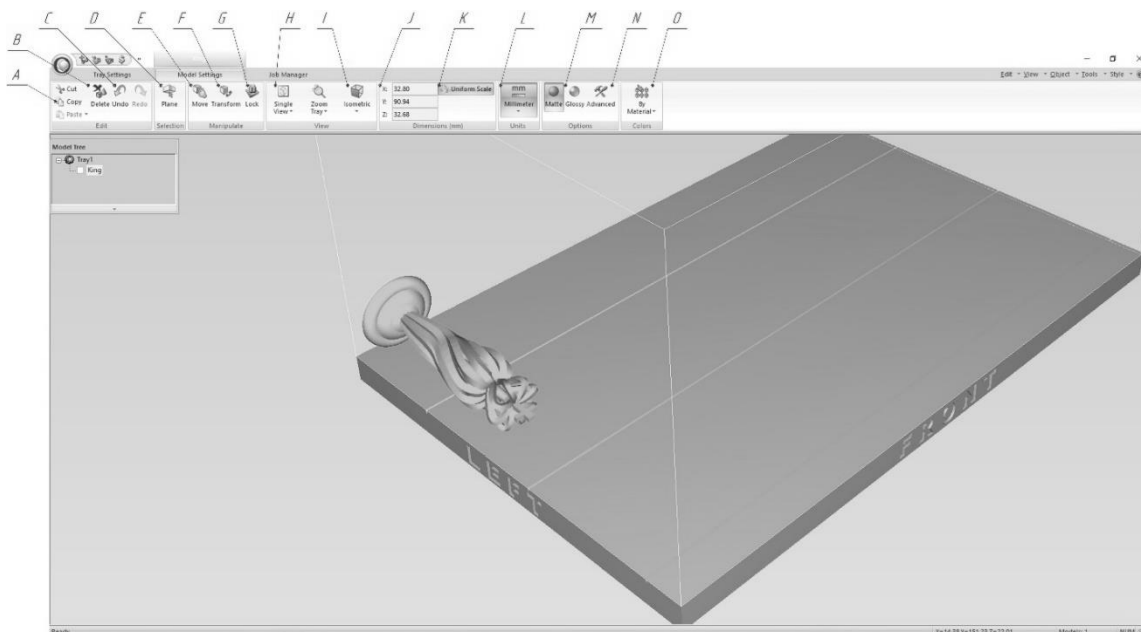


Рис.5.8. Интерфейс вкладки Model Setting

А. Панель *Edit*, функции:

*Cut* – Вырезать 3-D модель; *Copy* – Копировать 3-D модель;

*Paste/Paste Special* – Вставить/вставить со свойствами 3-D модель;

В. *Delete* – 3-D Удаление модели;

С. *Undo* – Отмена предыдущего действия;

*Redo* – Повторение последнего действия.

Д. Функция *Plane: Move* – Ручное перемещение 3-D модели по поверхности платформы построения;

Е. *Transform* – Дискретное изменение координат и углов поворота 3-D модели, масштабирование вдоль осей (рис.5.9);

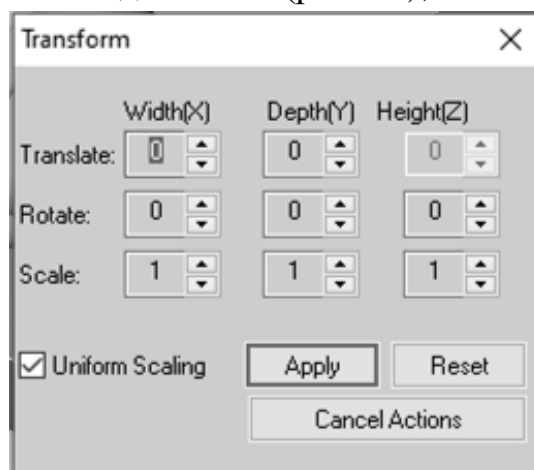


Рис.5.9. Меню функции Transform

Ф. *Lock* – фиксация 3-D модели в текущем положении и размерах на платформе построения;

Г. Вкладка для переключения количества видов;

Н. Вкладка изменения вида;

И. Панель изменения габаритов модели по осям X, Y, Z в единицах, указанных в пункте L

Ж. *Uniform Scale* – данная функция отвечает за сохранение пропорций 3-D модели, то есть равномерное масштабирование модели по осям X, Y, Z;

К. В данной панели указываются единицы измерения (мм/дюймы);

Л. В данной панели указывается вид поверхности изготавливаемой 3-D модели (*Matte* – матовый, *Glossy* – глянцевый);

М. *Advanced* – в данном меню указываются стиль сетки (*Grid Style*) в трёх вариантах: *Standard* (Обычный), *Heavy* (Тяжёлый), *Lite* (Облегчённый) и толщина оболочки (*Shell Thickness*) при необходимости изготовления полых детали (*Hollow*) (рис.5.10).

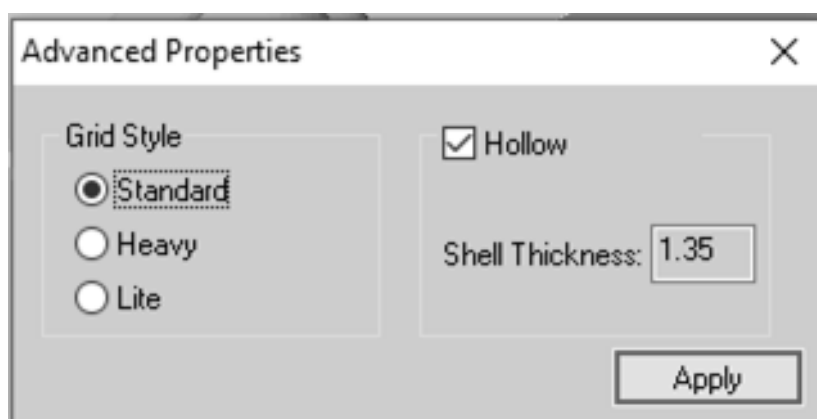


Рис.5.10. Меню расширенных настроек печати

Н. Данная вкладка позволяет изменять цветовое отображение 3D модели.

***Порядок выполнения работы:***

1. Ознакомиться с теоретической частью, касающейся устройства и принципа работы 3-D принтера Objet 30 Pro;

2. Открыть программное обеспечение Objet Studio и выбрать в соответствующем пункте меню модель 3-D принтера Objet 30 Pro в качестве используемого оборудования;

3. Расположить пять 3-D моделей на платформе построения: одна в центре, четыре по краям платформы построения (3-D модели выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем);
4. Расположить 3-D модели под разными углами относительно осей X, Y, Z (значения выбираются самостоятельно или выдаются преподавателем);
5. Масштабировать и расположить детали:
  - a. Без изменения размеров 3-D модели;
  - b. 110% от исходного размера 3-D модели;
  - c. Максимальный масштаб 3-D модели;
  - d. Масштабировать 3-D модель на 150% по одной из осей (несимметричное масштабирование);
6. Сгенерировать поддержки в автоматическом режиме, а так же управляющую программу для 3-D принтера Objet 30 Pro.

***Отчет должен содержать:***

1. Цель и краткие теоретические сведения;
2. Изображения внешнего вида 3-D принтера Objet 30 Pro с указанием основных конструктивных элементов;
3. Описание технологии печати изделий на 3-D принтере Objet 30 Pro с указанием преимуществ и недостатков;
4. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;
5. Вывод по выполненной практической работе.

***Контрольные вопросы:***

1. Какая технология применяется при создании изделий с использованием 3-D принтера Objet 30 Pro?
2. Какие конструкционные материалы применяются для построения изделий с использованием 3-D принтера Objet 30 Pro? Дайте их характеристику.
3. Укажите основные технические характеристики 3-D принтера Objet 30 Pro.
4. Укажите основные преимущества и недостатки 3-D принтера Objet 30 Pro.
5. Опишите основные этапы изготовления изделий с применением 3-D принтера Objet 30 Pro.

6. Укажите функциональное назначение программного обеспечения Objet Studio.

7. Укажите преимущества и недостатки программного обеспечения Objet Studio.

8. Опишите последовательность генерации поддерживающих элементов в программном обеспечении Objet Studio. В чем особенность генерации поддерживающих элементов при использовании технологии PolyJet?

9. Опишите алгоритм генерации управляющей программы для 3-D принтера Objet 30 Pro с использованием программного обеспечения Objet Studio.

10. Как можно оценить оптимальное расположение изделия на платформе построения с помощью программного обеспечения Geomagic Print?

## **Практическая работа № 6. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА, ПРИНЦИПА РАБОТЫ 3-D ПРИНТЕРА CONCEPT LASER M2 CUSING И АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MATERIALISE MAGICS**

**Цель работы:** изучение устройства, принципа работы 3-D принтера Concept Laser M2 cusing и алгоритмов генерации управляющих программ с использованием программного обеспечения Materialise Magics.

**Оборудование и инструменты:** 3-D принтер Concept Laser M2 cusing, конструкционный материал, персональный компьютер с установленным программным обеспечением Materialise Magics.

### ***Теоретические положения:***

Промышленный 3-D принтер Concept Laser M2 cusing использует для изготовления деталей и моделей технологию SLM (Selective laser melting – выборочной лазерной плавки) [14, 15]. Компания Concept Laser использует для обозначения этой технологии свое фирменное название LaserCUSING, запатентованное в 2015 году фирмой Concept Laser, которое также является частью названия моделей 3D-принтеров компании. Промышленный 3-D принтер Concept Laser M2 cusing работает с порошковыми материалами двух типов: реактивными и неактивными (металлы и металлические сплавы различного состава).

Для плавки металлического порошка в 3-D принтерах Concept Laser M2 cusing используются иттербиевые волоконные лазеры [16]. Во время процесса изготовления изделия происходит не спекание, а полная плавка металлического порошка, в результате которой образуется однородная масса. В результате применения такой технологии получают изделия высокого качества и любого уровня геометрической сложности. Применение данной технологии позволяет значительно сэкономить производственные и временные затраты, которые обычны для традиционных методов литья и штамповки.

3-D принтер Concept Laser M2 cusing обеспечивает высокий уровень безопасности для работы с реактивными металлами. Камера построения,

станции просеивания, загрузки/выгрузки порошка и фильтры инертных газов выполнены в соответствии с требованиями ATEX Guideline II (category 3D, Zone 22) для легковоспламеняющихся и взрывоопасных материалов.

Готовые компоненты при необходимости могут быть подвергнуты механической обработке, сварке или закалке. Промышленный 3-D принтер Concept Laser M2 cusing используется в широком спектре промышленных отраслей: от аэрокосмической, оборонной и пищевой промышленности до медицинских и в том числе стоматологических решений.

Технические характеристики промышленного 3-D принтера Concept Laser M2 cusing представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Технические характеристики промышленного 3-D принтера  
Concept Laser M2 cusing

Технология 3-D печати	SLM
Область печати, мм	250x250x280
Тип лазера	Yb:YAG оптоволоконный лазер с диодной накачкой мощностью
Мощность лазера, Вт	200 (опционально 400 и более)
Толщина слоя, мкм	20÷80
Скорость печати, см <sup>3</sup> /час	2÷20
Скорость ракеля (ножа), мм/с	400
Повторяемость, мкм	± 3÷5
Материалы	алюминиевые сплавы никелевый сплав титановый сплав чистый титан сплавы из драгоценных металлов
Габариты принтера, мм	2542x1818x1987
Масса принтера, кг	2300
Напряжение электропитания, В	3800
Требования к источнику сжатого воздуха, бар	5
Точность позиционирования, мм	± 0,1
Формат данных	CLS, STL
Подключение к компьютеру	сеть Ethernet

Принцип изготовления изделий при использовании технологии Laser cusing включает следующие этапы:

1. Порошковый материал из бункера наносится на платформу построения, находящуюся в бункере построения, и разравнивается ракелем (ножом);

2. Лазерное излучение воздействует на заданное сечение модели, сплавляя нанесенный порошковый материал;

3. После сплавления, платформа построения опускается на величину, соответствующую толщине слоя, после чего из бункера наносится новый слой материала и разравнивается ракелем (ножом), затем происходит сплавление, нанесенного слоя материала лазерным излучением;

Процесс, описанный в пунктах 1 – 3, повторяется до тех пор, пока не будут пройдены все сечения модели.

Внешний вид промышленного 3-D принтера приведен на рисунке 6.1.



Рис.6.1. Внешний вид промышленного 3-D принтера Concept Laser M2 cusing

А. Камера загрузки порошкового материала и постобработки детали (подробнее представлена на рис.6.2 – 6.3.);

В. Камера построения (подробнее представлена на рис.6.4 – 6.5.);

С. ЖК-дисплей для задания режима печати;



Д. Устройство для загрузки порошка.



Рис.6.2. Внешний вид камеры загрузки материала

А. Герметично закрывающаяся крышка;

В. Рукава для манипуляций с изделием в камере загрузки порошка;



Рис.6.3. Внешний вид элементов камеры загрузки материала и постобработки готового изделия

С. Каркас, перемещающий бункеры из камеры загрузки порошка в камеру построения и обратно;

- D. Бункер подачи порошка;
- E. Бункер построения;
- F. Труба подачи порошка из загрузочного устройства, расположенного выше камеры загрузки порошка;
- G. Разравнивающий ракель (нож).



Рис.6.4. Внешний вид камеры построения изделий

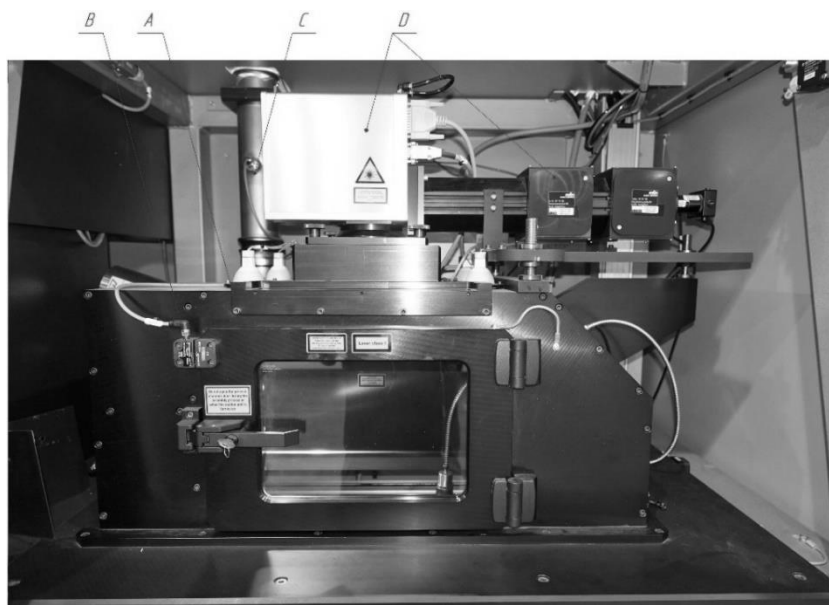


Рис.6.5. Внешний вид элементов камеры построения изделий

- A. Герметичная дверца камеры;
- B. Датчики закрытия дверцы;
- C. Датчик уровня кислорода в камере;
- D. Система фокусировки лазерного луча.

Программное обеспечение, используемое для подготовки 3-D моделей для изготовления на промышленном 3-D принтере Concept Laser M2 cusing, называется «Materialise Magics» [17] и позволяет производить следующие действия с 3-D моделью при подготовке ее к печати:

1. Перемещение вдоль осей X, Y, Z;
2. Поворот вдоль осей X, Y, Z;
3. Масштабирование (как пропорциональное, так и вдоль осей X, Y, Z);
4. Автоматическая и ручная генерация поддержек (ручная генерация состоит в указании места крепления и толщины поддержки);
5. Осуществление булевских операций (вычитание, объединение нескольких моделей и др.);
6. Проверка наличия и исправление ошибок в STL-файле;
7. Генерация внутренних пространственных структур.

Интерфейс программного обеспечения Materialise Magics (основное меню и меню генерации поддержек) показаны на рисунках 6.6 – 6.7.

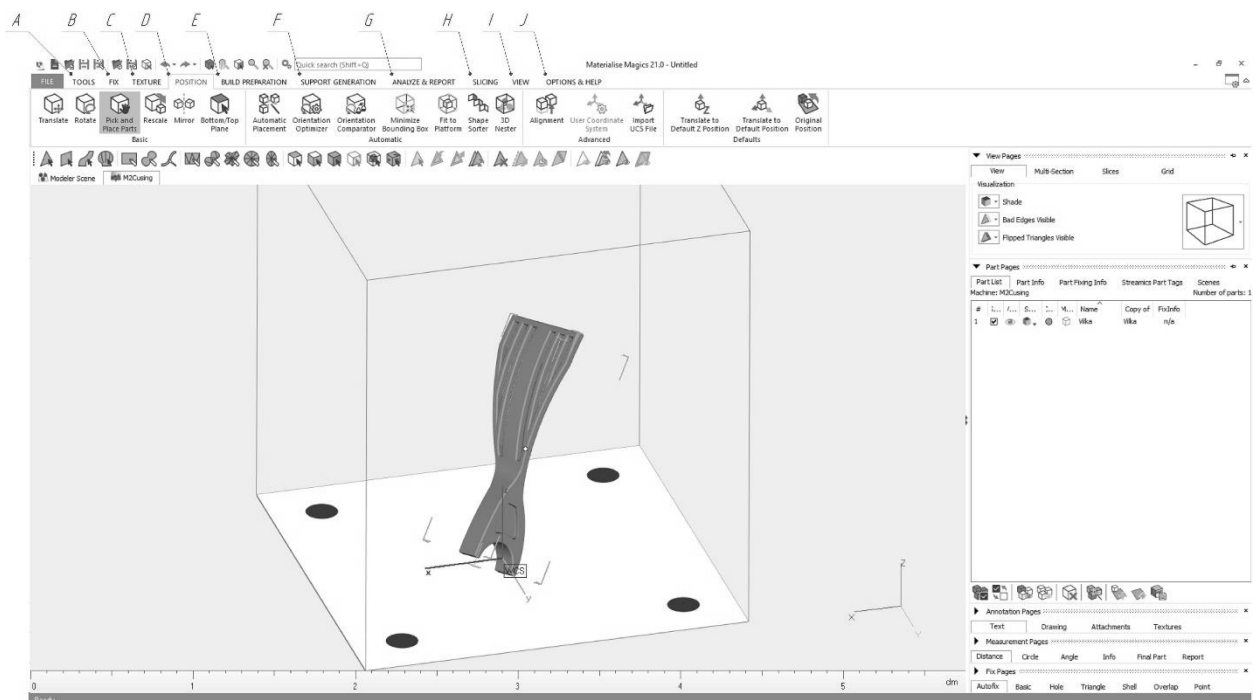


Рис.6.6. Интерфейс программного обеспечения Materialise Magics

А. TOOLS– Панель для преобразования 3-D моделей (изменения толщины стенок и т.д.);

В. FIX – Панель для исправления ошибок в геометрии STL-файля 3-D модели (заливка пор, соединение разомкнутых поверхностей и т.д.);

C. TEXTURE – Панель изменения внешнего вида 3-D модели для удобства работы с ней;

D. POSITION – Панель с инструментами для пространственного размещения модели;

E. BUILD PREPARATION – Панель для настройки параметров печати;

F. SUPPORT GENERATION – Панель для создания поддержек в автоматическом и ручном режимах;

G. ANALYZE & REPORT – Панель анализа возможности печати, расчёта стоимости и времени печати и т.д.;

H. SLICING – Панель разбиения модель на слои;

I. VIEW – Панель обзора рабочего пространства с различных положений камеры;

J. OPTIONS & HELP – Панель настроек и справоч.

Наибольшее внимание в данной практической работе уделяется возможностям тонкой настройки параметров генерации поддержек. Программное обеспечение Materialise Magics позволяет генерировать поддержки в автоматическом и ручном режимах.

*Автоматический режим* – Программное обеспечение Materialise Magics самостоятельно находит поверхности, к которым необходимо присоединение поддержек, за пользователем оставляется возможность редактирования различных параметров самих поддержек. Пример поддержек после автоматической генерации показан на рисунке 6.7.

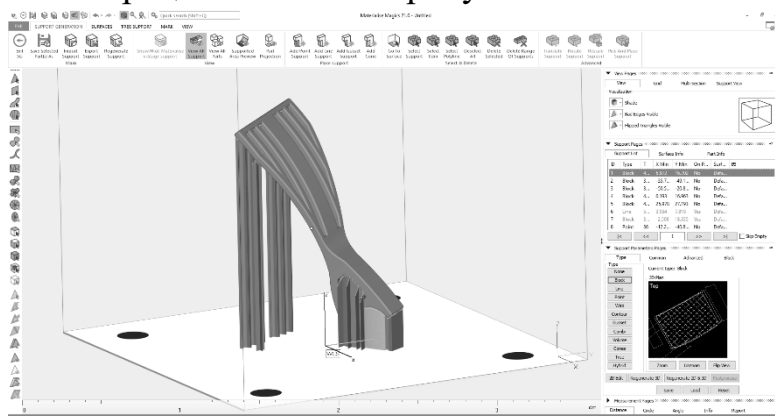


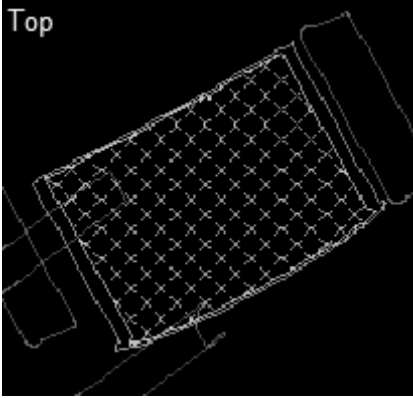
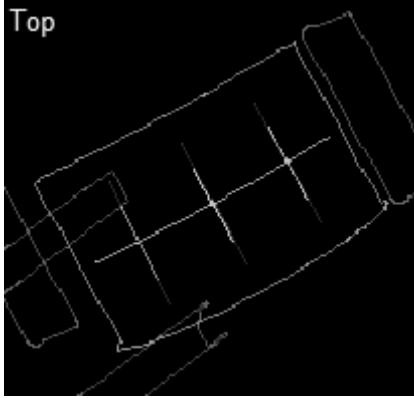
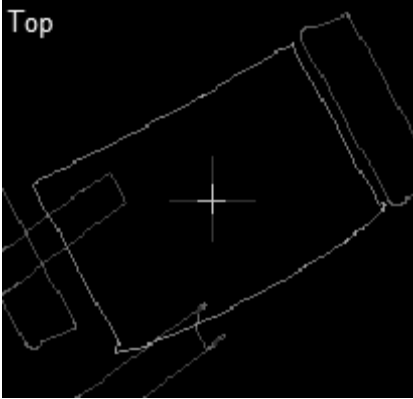
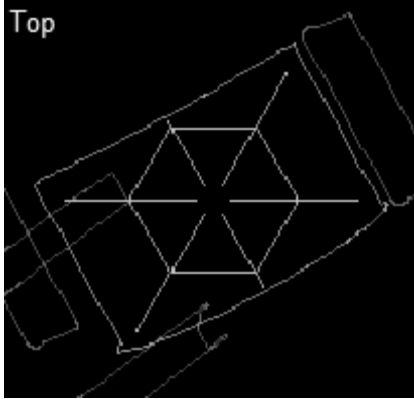
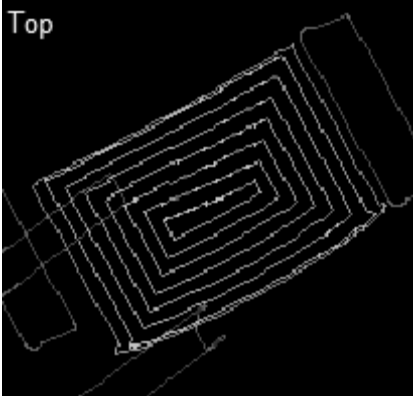
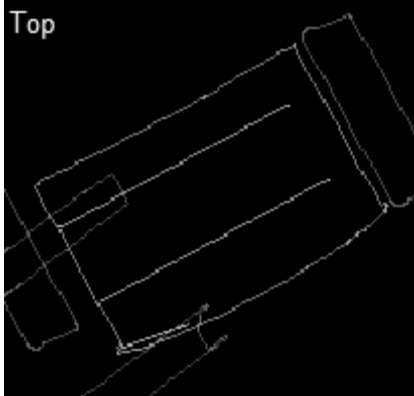
Рис.6.7. Результат создания поддержек в автоматическом режиме

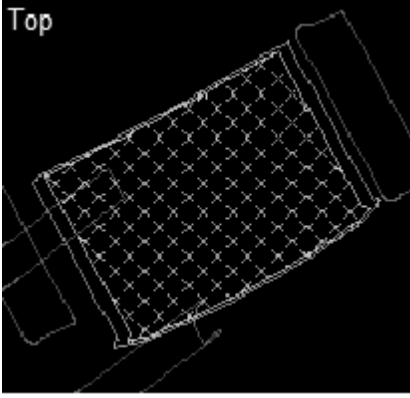
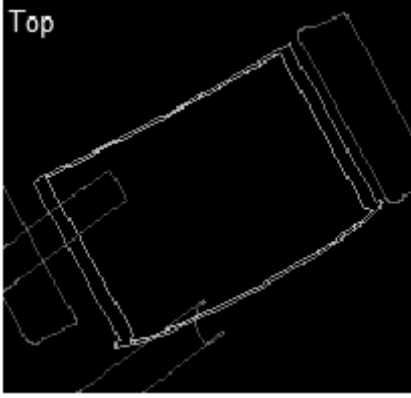
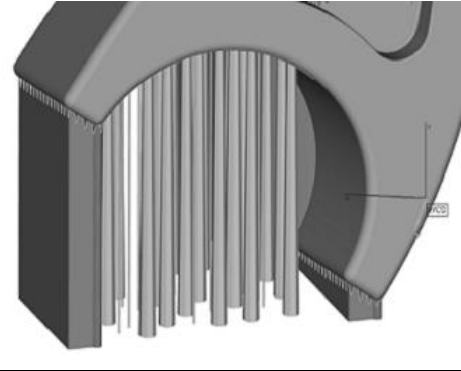
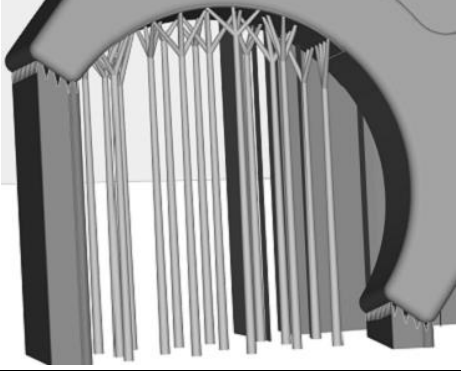
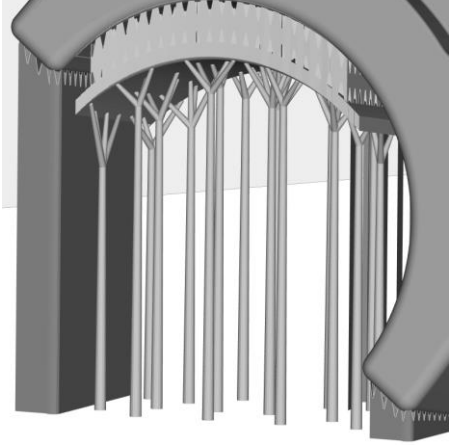
Пользователем может быть изменён тип поддержек, толщина геометрических элементов поддержки и др. (табл. 6.2). Помимо задания вида поддержек, возможно изменение общих настроек для всех типов поддержек од-

новременно (Common/Advanced) или индивидуально для каждого выбранного типа поддержек. Редактирование происходит в меню настройки поддержек в правой части экрана.

Таблица 6.2

Возможные варианты генерируемых поддержек

2D-сечения поддержек постоянной геометрии			
Block (Блок)	 <p>Тор</p>	Line (Пересекающиеся линии)	 <p>Тор</p>
Point (Точка)	 <p>Тор</p>	Web (Сеть)	 <p>Тор</p>
Contour (Эквидистанта к контуру)	 <p>Тор</p>	Gusset (Полосы)	 <p>Тор</p>

Combi (Комбинированный)		Volume (По всему объёму)	
Внешний вид поддержек переменной геометрии			
Cones (Конусы)		Tree (Деревовидные поддержки)	
Hybrid (Гибридные поддержки)			

*Ручной режим* – в данном режиме пользователю необходимо самостоятельно указывать поверхности, типы и параметры поддержек.

Существует три варианта создания поддержек в данном режиме:

I. По точкам:

Создание поддержек по точкам реализуется через вкладку SUPPORT GENERATION – Manual generation – вкладка Place support. Возможно четыре вида поддержек по точкам:

1. Point Support – Поддержка в точке. Указывается точка, после чего возможно редактирование как в автоматическом режиме;
2. Line Support – Поддержки вдоль линии. Выбирается цепь из нескольких точек вдоль поверхности модели (для завершения необходимо вне модели кликнуть ПКМ), после чего генерируется поддержки линейного типа;
3. Gusset Support – Поддержка клином (ребром);
4. Add Cone – Поддержка конус. Для создания необходимо указать точку на поверхности, либо цепочку точек (рис.6.8). При создании конуса вводятся его параметры (диаметр контакта с деталью и платформой, смещение по оси Z и т.д.).

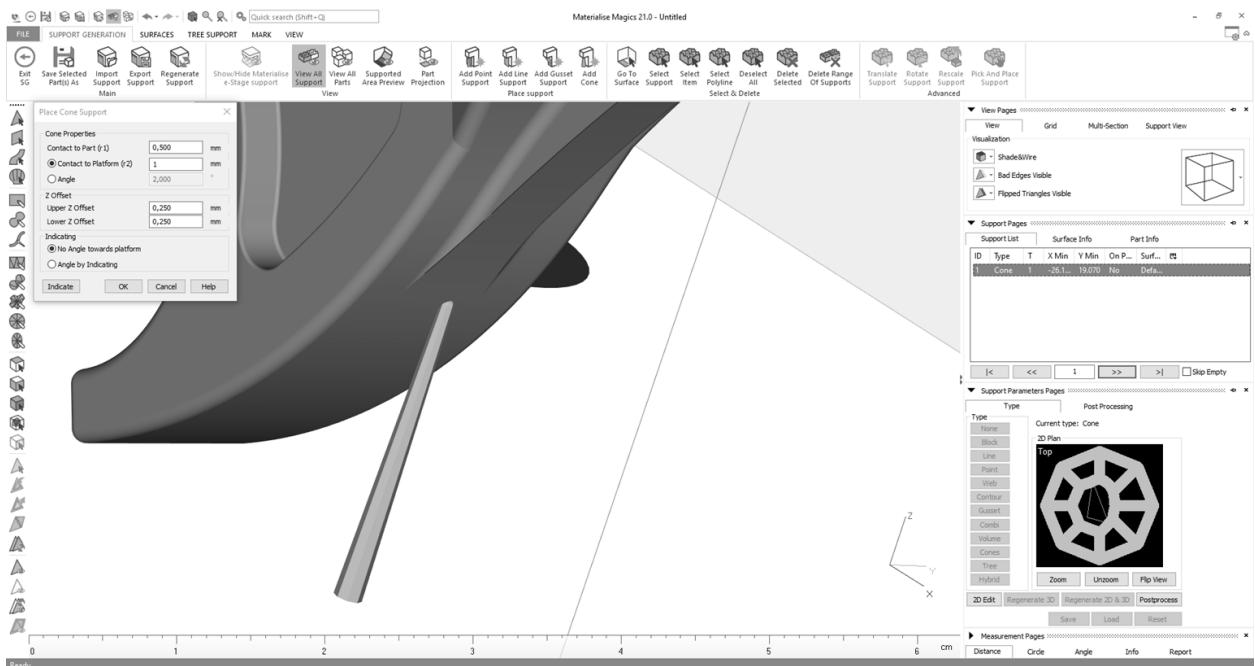


Рис.6.8. Пример создания поддержек по точкам на примере команды «Add Cone»

## II. По поверхностям:

Создание поддержек по поверхностям идёт в 3 этапа:

1. Выбор поверхности. Поверхность может создаваться различными инструментами, располагающимися в левой части экрана или на вкладке MARK. (рис.6.9);
2. Создание поверхности реализуется во вкладке SURFACES. В этой же вкладке возможно добавить геометрию к уже существующей поверхности;
3. Редактирование поддержек.

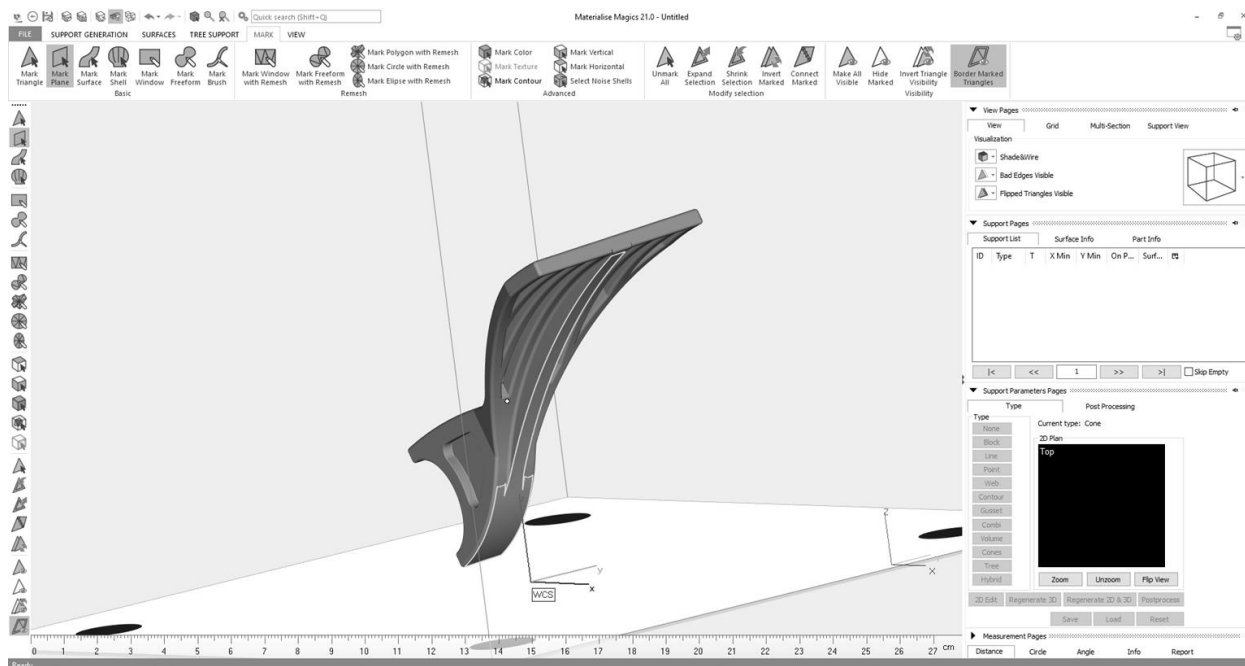


Рис.6.9. Выбор поверхностей для крепления поддержек с помощью инструмента «Mark Plane»

### III. Создание древовидных поддержек:

Создание древовидных поддержек происходит с использованием команд во вкладке TREE SUPPORT – Start Tree Support и включает следующие этапы:

1. Создание ствола (Create Trunk). Указывается точка, откуда будет исходить ствол, при необходимости можно изменить толщину, высоту и иные параметры с помощью выделения ствола через команду Select Tree Element;
2. Создание ветвей. Через команду Create Branches на поверхности 3-D модели выбираются точки, которые будут соединять поверхность и ствол поддержки. После их выбора, на стволе указывается точка, откуда будут исходить «ветви» (рис.6.10). Если одна из ветвей будет расположена под неправильным углом, который не сможет нормально поддерживать конструкцию, она изменит свой цвет на красный;



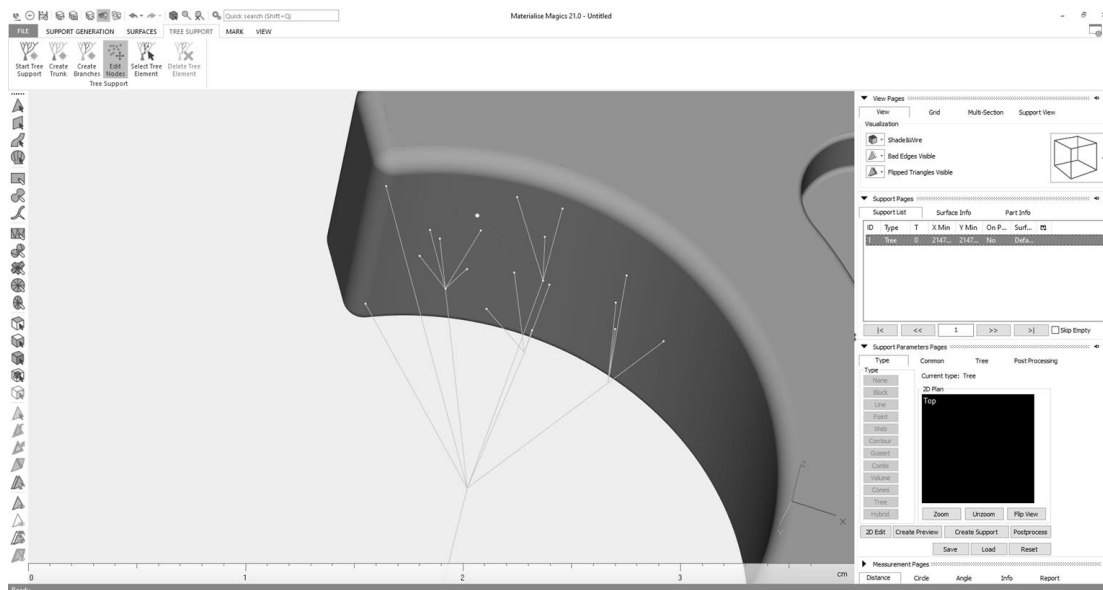


Рис.6.10. Задание точек крепления древовидных поддержек к детали

3. Генерация поддержек. Для создания поддержки нужно нажать Create Support (рис.6.11).

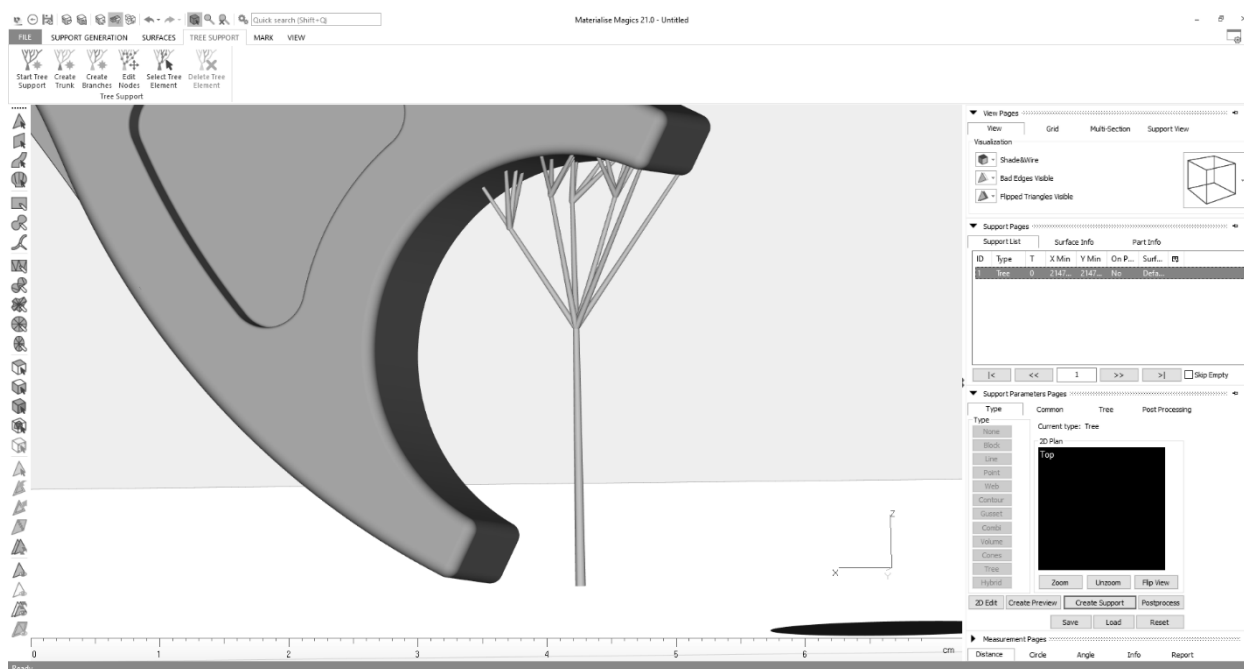


Рис.6.11. Внешний вид вручную сгенерированной древовидной поддержки

### ***Порядок выполнения работы:***

1. Ознакомиться с теоретической частью, касающейся устройства и принципа работы промышленного 3-D принтера Concept Laser M2 cusing;

2. Открыть программное обеспечение Materialise Magics и выбрать в соответствующем пункте меню модель промышленного 3-D принтера Concept Laser M2 cusing в качестве используемого оборудования;
3. Создать поддержки в автоматическом режиме;
4. Создать поддержки трех видов в ручном режиме, согласно указаниям преподавателя;
5. Сгенерировать управляющую программу для промышленного 3-D принтера Concept Laser M2 cusing.

***Отчет должен содержать:***

1. Цель и краткие теоретические сведения;
2. Изображения внешнего вида промышленного 3-D принтера Concept Laser M2 cusing с указанием основных конструктивных элементов;
3. Описание технологии печати изделий на промышленном 3-D принтере Concept Laser M2 cusing с указанием преимуществ и недостатков;
4. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;
5. Вывод по выполненной практической работе.

***Контрольные вопросы:***

1. Какая технология и конструкционные материалы применяется при создании изделий с использованием 3-D принтера Concept Laser M2 cusing?
2. Укажите основные технические характеристики 3-D принтера Concept Laser M2 cusing.
3. Опишите основные этапы изготовления изделий с применением 3-D принтера Concept Laser M2 cusing.
4. Укажите основные преимущества и недостатки 3-D принтера Concept Laser M2 cusing.
5. Укажите функциональное назначение программного обеспечения Materialise Magics. В чем отличие данного программного обеспечения от других программных продуктов того же функционального назначения?
6. Опишите последовательность генерации поддерживающих элементов в программном обеспечении Materialise Magics. Укажите преимущества и недостатки программного обеспечения Materialise Magics.

## **Практическая работа № 7. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ BREUCKMANN ОРТО-ТОР НЕ**

**Цель работы:** изучение устройства, принципа работы системы Breuckmann ОРТО-ТОР НЕ и алгоритмов создания цифровых моделей трехмерных объектов с использованием программного обеспечения AICON OptoCAT.

**Оборудование и инструменты:** системы Breuckmann ОРТО-ТОР НЕ, трехмерный объект для оцифровки, персональный компьютер с установленным программным обеспечением AICON OptoCAT.

### ***Теоретические положения:***

Трехмерное сканирование представляет собой технологию перенесения физических параметров объекта в цифровой формат в виде объемной модели и появившуюся в 60-х годах 20-го века.

Первые образцы 3D-сканеров были довольно просты и не обладали широким функционалом. Постепенно они усложнялись и совершенствовались, позволяя добиваться все более четкого изображения объекта.

3D-сканер – это устройство, которое исследует какой-либо объект, оцифровывая его с помощью датчиков, и использует полученную информацию для создания трехмерной модели. Таким образом, 3D-сканер создает цифровую копию физического объекта любой конфигурации и степени сложности. Этим он принципиально отличается своих предшественников – обычных сканеров, способных лишь считывать информацию с документов и фото.

Сам процесс 3D-сканирования может происходить по-разному – в зависимости от вида 3D-устройства и применяемой технологии, а также от того, какой объект требуется обработать с его помощью – движущийся или статичный.

Существует два основных вида 3D-сканеров – лазерные и оптические. Их принципиальное отличие состоит в том, как и с помощью чего происходит считывание данных.

Лазерное 3D-сканирование происходит с использованием лазера и может осуществляться как на ближних, так и на дальних расстояниях от объекта.

В большинстве своем лазерные 3D-сканеры работают по принципу триангуляции, когда камера находит луч на поверхности объекта и измеряет расстояния до него, после чего создается облако точек, каждая из которых имеет свои координаты в пространстве, и строится 3D-модель объекта. Их достоинствами являются доступная цена и простота в применении в совокупности с высокой точностью сканирования. Из недостатков можно отметить ограничения по удаленности и размерам сканируемого объекта.

Другой тип лазерных сканеров работает по принципу так называемого лазерного дальномера, измеряя время отклика луча от поверхности объекта. Данный тип сканеров широко применяются там, где необходимо создавать 3D-модели различных зданий и сооружений. Их нецелесообразно использовать на небольших расстояниях, так как в таких случаях время отклика очень мало и точность данных снижается. Так же этот вид сканеров отличается высокой скоростью сканирования и детализацией получаемых изображений.

Недостатком лазерных 3D-сканеров является невозможность их применения на движущихся объектах. В этом случае необходимо использовать оптические 3D-сканеры, которые снимают одной или несколькими камерами с разных ракурсов подсвеченный специальным проектором объект. На основе полученной картинки и строится его трехмерное изображение.

Ограничением для применения этой технологии служат отражающие и пропускающие свет поверхности – блестящие, зеркальные или прозрачные.

Проводить сканирование любого объекта можно как контактным, так и бесконтактным способом. В первом случае необходимо активное взаимодействие с объектом 3D-сканирования, во втором – нет. Оба этих метода имеют свои преимущества и недостатки.

Контактные 3D-сканеры имеют механический щуп со специальным датчиком, который проводит замеры параметров объекта и собранную информацию передает на устройство обработки данных. Для этого исследуемый объект помещают на специальную поверхность и закрепляют. Такой плотный физический контакт дает возможность максимально точно определить и построить 3D-модель объекта, однако, есть риск повреждения сканируемого изделия.

Бесконтактные 3D-сканеры – это устройства, способные осуществлять 3D-сканирование, находясь на расстоянии от объекта. Особенно это актуально для объектов, расположенных в труднодоступных местах.

Поток излучения (ультразвук, свет, рентгеновские лучи или лазерное излучение) направляется на объект и отражаясь от него, распознается 3D-сканером. Они схожи по принципу действия с видеокамерой и могут требовать использования дополнительных устройств для лучшего освещения.

Бесконтактные трехмерные сканеры бывают 2-х видов:

- ✓ активные – работают при помощи направленного на объект луча лазера или структурированного света, которые, отражаясь, дают информацию о местонахождении предмета в виде координат.

- ✓ пассивные – используют времяпролетные дальномеры, которые считывают время и расстояние, которое проходит лазерный луч до предмета, и так по каждой точке в пространстве, что в итоге позволяет точно воссоздавать его трехмерное изображение.

Очень востребованными и распространенными являются настольные 3D-сканеры, поскольку они в большинстве своем просты и безопасны в эксплуатации, не требуют каких-то специальных технических навыков и стоят довольно дешево.

3D-сканеры по принципу применения делятся на:

- ✓ ручные – удобные и простые модели, которыми легко пользоваться, так как они довольно компактны и не требуют особых навыков эксплуатации. Однако, и их технические возможности несколько ограниченными.

- ✓ портативные – применяются в основном для работы на выезде, отличаются повышенной мобильностью.

- ✓ настольные – имеют расширенную функциональность и применяются для создания точных 3D-моделей объектов.

- ✓ стационарные – применяются на производстве, различных предприятиях, так как могут сканировать сразу большое количество однотипных объектов. Устанавливаются на специальных поворотных столиках.

Преимущества 3D-сканеров:

- ✓ возможность сканирования объектов, расположенных на удаленном расстоянии и в недоступных для присутствия местах;

- ✓ обладают возможностью передавать не только цвета, но и текстуру поверхности;

- ✓ существенно ускоряют процесс получения данных с любого объекта, даже имеющего сложную геометрическую форму;

- ✓ разнообразие моделей позволяет подобрать наиболее удобный вариант 3D-сканера.

Недостатки 3D-сканеров:

- ✓ некоторые виды сканеров не способны распознавать прозрачные или черно-белые предметы. В этом случае требуется их предварительная подготовка (обработка специальным матирующим составом);

- ✓ некорректное отображение сложных объектов, с большим количеством вставок и перегородок;

- ✓ для получения качественного результата требуют умений и навыков работы с определенными компьютерными программами по созданию 3D-моделей.

При необходимости создания высокоточных и качественных трехмерных копий объектов 3D-сканер является наиболее простым инструментом для реализации поставленной задачи. Он дает возможность работать практически в любых условиях: в специальных лабораториях и вне оборудованных рабочих мест, с любыми предметами по виду и размеру.

При выборе 3D-сканера необходимо ориентироваться на следующие параметры:

- ✓ точность 3D-сканирования;
- ✓ разрешающая способность;
- ✓ диапазон работы устройства (насколько близко/далеко может находиться устройство от объекта 3D-сканирования);
- ✓ поле 3D-сканирования (диагональ рабочей зоны);
- ✓ портативность, мобильность устройства;
- ✓ время необходимое на подготовку 3D-сканера к работе, а также длительность самого процесса непрерывной оцифровки.

Трехмерные сканеры востребованы во многих сферах человеческой жизни. Они незаменимы как в промышленности, так и для бытовых нужд.

Самыми распространенными областями использования 3D-сканеров являются:

- ✓ медицина;
- ✓ промышленность;
- ✓ архитектура;
- ✓ строительство;
- ✓ киноиндустрия и дизайн.

Например, в стоматологии эти устройства позволяют создавать сверхточные трехмерные модели зубных протезов. В строительстве и промышленности также не обойтись без подобных технологий. Цифровые прототипы зданий сейчас получить гораздо проще и быстрее, чем раньше, когда

для этого требовались множественные замеры вручную с последующим занесением их в базу данных. Любой физический объект сейчас можно воссоздать в трехмерном формате, причем, в кратчайшие сроки и с минимальной погрешностью.

В кинотеатрах мы можем видеть достаточно большое количество «оживших» фантастических персонажей, при создании которых применялась технология захвата движений, что позволило их сделать максимально реалистичными и впечатляющими. Это было бы невозможно без 3D-сканеров.

Технология бесконтактного оптического сканирования обеспечивает оперативный сбор данных и высокий уровень детализации, а на выходе вы получаете трехмерную модель сканируемого объекта [14]. В этом оборудовании применяется технология подсветки структурированным светом, позволяющая сократить время одного снимка одной секунды, независимо от размера и сложности объекта сканирования.

Система Breuckmann OPTO-TOP HE – бесконтактный оптический 3-D сканер и предназначена для решения широкого спектра задач [15]:

- ✓ реверс-инжиниринг,
- ✓ метрологический контроль отклонений формы сложных изделий,
- ✓ оценка геометрических погрешностей изготовления,
- ✓ измерение объектов,
- ✓ 3D-моделирование.

При использовании 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE с фотограмметрической системой Aicon 3D Studio могут быть оцифрованы крупногабаритные объекты до мельчайших деталей.

Благодаря модульной конструкции и камерам высокого разрешения, система Breuckmann OPTO-TOP HE легко адаптируется для решения, практически, любых задач за минимальное время. Использование в конструкции углепластиковых компонентов обеспечивает высокий уровень термической и механической стабильности сенсоров, таким образом, позволяя добиваться высокого качества результатов даже в сложных условиях работы.

Результаты сканирования доступны в различных стандартных форматах файлов, что делает их совместимыми с различными существующими программными средствами для дальнейшей работы. В качестве программного обеспечения использует AICON OptoCAT.

Основными компонентами 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE являются (табл.7.1): сенсорная база (1), камера с разрешением 1,4 MPix (2),

проектор (3), кабели для передачи информации от установки к компьютеру и обратно (4), USB-ключ защиты для программного продукта AICON OPTOCAT (5), блок управления (6), набор сенсоров (7) и штатив (8).

Таблица 7.1

Компоненты 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE

№ п/п	Внешний вид компонента	Примечание
1		Оснащена двумя лазерами для фокусировки изображения. Длина может изменяться в зависимости от габаритов сканируемого объекта.
2		Предназначена для получения черно-белых снимков, необходимых для формирования объемного изображения.
3		Оснащен галогеновой лампой для создания дополнительного освещения при сканировании.
4		Предназначены для обмена данными между ЭВМ и системой Breuckmann OPTO-TOP HE по интерфейсу IEEE 1394 firewire.
5		Является аппаратным средством защиты программного продукта OPTOCAT 2007 от не лицензионного копирования.
6		Отвечает за управление процессом сканирования, обмен данными между ЭВМ и системой Breuckmann OPTO-TOP HE.
7		Имеют разное фокусное расстояние. Отдельно маркируются для использования с камерой (С) и проектором (Р).
8		Является базой для сборки системы Breuckmann OPTO-TOP HE. Имеет уровень горизонта и возможность изменения положения сенсорной базы в пространстве.

Общий вид 3-D сканера Breuckmann opto TOP-HE и его технические характеристики представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2



## Внешний вид 3-D сканера Breuckmann opto TOP-HE и его технические характеристики



### Технические характеристики:

1. Диагональ рабочей зоны сканирования, мм	200
2. Точность сканирования, мм	$\pm 0,01$
3. Разрешающая способность камеры (x, y), мкм	120
4. Апертура проектора, мм	2

Программное обеспечение для 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE называется «AICON OPTOCAT». Основные элементы интерфейса программы представлены на рис. 7.1–7.7.

Структура главного рабочего окна представлена на рис. 7.1.

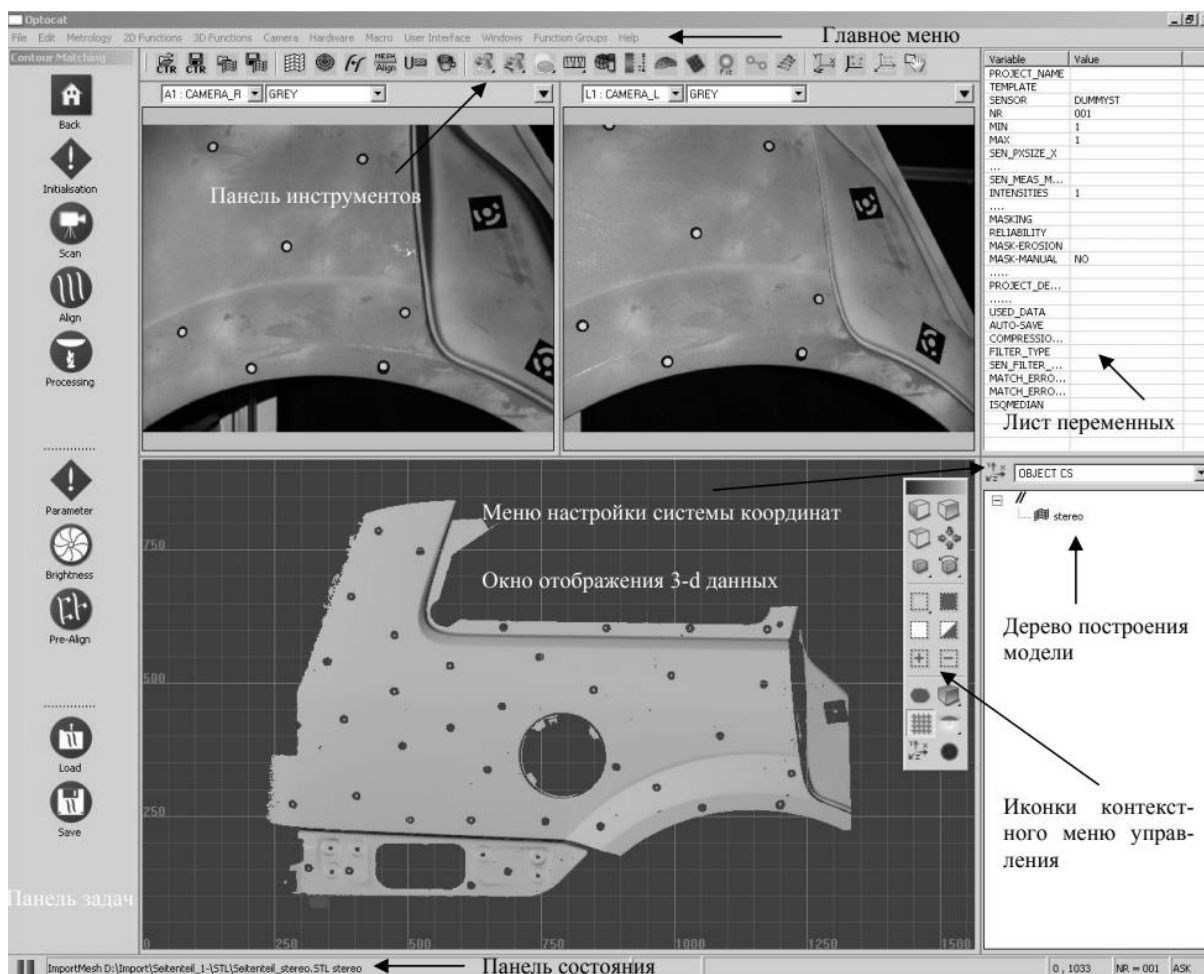


Рис. 7.1. Главный интерфейс программы AICON OptoCAT



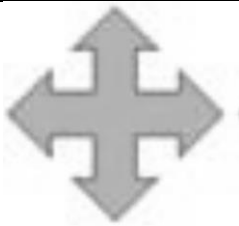
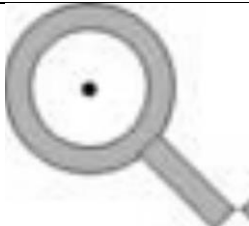

Все элементы управления ориентацией и отображением 3-D модели можно разделить на четыре группы:

- ✓ элементы ручного позиционирования модели;
- ✓ элементы отображения стандартных видов модели (вид спереди, вид сбоку, вид снизу);
- ✓ элементы управления отображением неподвижной модели и при ее перемещении;
- ✓ элементы обработки 3-D модели.

Описание основных возможностей каждой группы приведено в таблице, в которых отображены основные команды каждой группы и результат, получаемый после их применения. Основные возможности каждой группы приведены в табл. 7.3-7.6.

Таблица 7.3

## Элементы ручного позиционирования модели

Обозначение (иконка)	Комбинация клавиш	Выполняемое действие
	LMB	Линейное перемещение объекта в любом направлении
	RMB	Изменение масштаба
	MMB	Перемещение объекта в плоскости экрана
	Wheel (колесико мыши)	Изменение масштаба
	Alt + LMB	Вращение объекта по и против часовой стрелки

Используемые сокращения: LMB – Left mouse bottom (левая кнопка мыши), RMB – Right mouse bottom (правая кнопка мыши), MMB – Middle mouse bottom (средняя кнопка мыши).

Таблица 7.4

## Элементы отображения стандартных видов модели


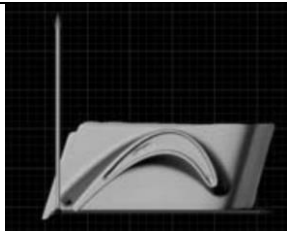

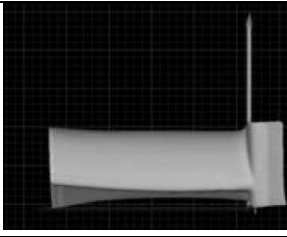



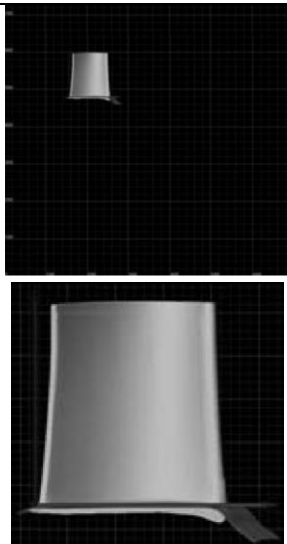


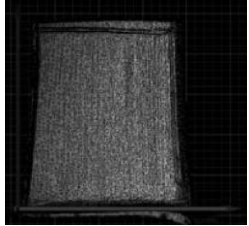
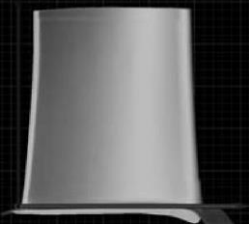
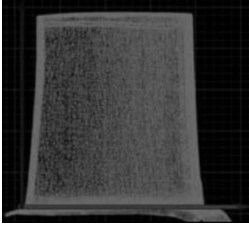
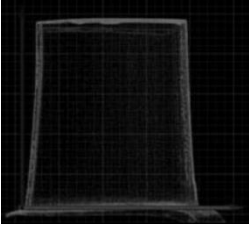
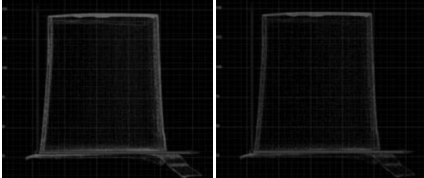
Обозначение (иконка)	Выполняемое действие	Описание выполняемого действия
	Отображает вид спереди, сканируемого объекта	
	Отображает вид сбоку, сканируемого объекта	
	Отображает вид снизу, сканируемого объекта	
	Вписывает отсканированные объект в экран	


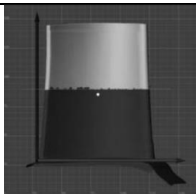
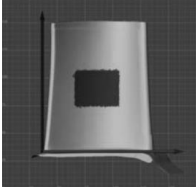
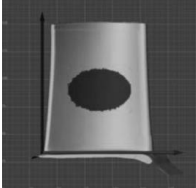

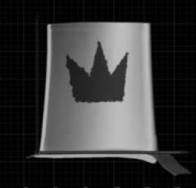


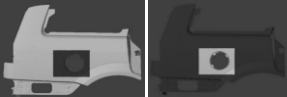
Таблица 7.5




## Элементы управления отображением неподвижной модели

 – иконка, вызывающая панель управления способами отображения неподвижной модели*	Способ отображения (пример)	Описание способа отображения
Способ отображения пример		
Плоскость (flat)		Отображает данные как закрашенные треугольник
Плоскость + Каркас (flat + wireframe)		Отображает данные как закрашенные треугольники с их контурами
Сглаженная поверхность (smooth)		Отображает данные как закрашенные сглаженные треугольники
Каркас (wireframe)		Отображает данные как каркасную модель
Точки (points)		Отображает данные в виде точек
1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/100		Отображает соответственно каждую точку, каждую вторую точку, каждую вторую точку и т.д.

\* – отображение модели при ее перемещении имеет точно такие же настройки.

## Элементы обработки 3-D модели

 – Режим выделения сканируемого объекта		
Способ выбора объекта или его части	Пример применения способа	Описание способа
Линия (line)		Для выбора нужной области необходимо обвести ее линиями
Прямоугольник (rectangle)		Для выбора нужной области необходимо указать начальную и конечную вершины прямоугольника
Эллипс (Ellipse)		Для выбора нужной области необходимо указать центр эллипса. При удерживании нажатой клавиши ctrl эллипс превращается в окружность
Лассо (Lasso)		Предназначен для выбора области произвольной формы.
Многоугольник (polygon)		Позволяет очерчивать контур выбираемого объекта прямыми линиями
Выбрать весь объект (select all)		Предназначена для выбора всего объекта сканирования
Отменить выбор объекта (select none)		Отменяет выбор сделанный до него
Обратить выбор объекта (invert selection)		Обращает выделенную область объекта

Для добавления фрагмента к уже выбранной области существует команда `add selection` (добавить к выбранному ( )), для исключения фрагмента – `remove selection` (удалить выбранное ( )). Для удаления ненужных фрагментов 3-D объекта – `erase selection` ( ).

### *Сканирование объектов*

Сканирование объектов на установке Breuckmann OPTO-TOP HE можно проводить двумя основными способами, которые отличаются технологией формирования 3-D модели. Последовательность действий, которую необходимо выполнить для получения одной области сканируемого объекта является одинаковой как для первого способа, так называемого, «Ручного сканирования», так и для второго – «Сканирование с помощью контрольных точек». Различия проявляются на стадии формирования модели из отдельных областей сканирования. Рассмотрим последовательность действий, которую необходимо выполнить для получения полной 3-D модели на примере «Ручного сканирования», а отличительные особенности «Сканирование с помощью контрольных точек» рассмотрим отдельно. Процесс сканирования начинается с установки объекта в рабочей зоне. Причем как к объекту сканирования, так и к рабочей зоне предъявляется ряд требований. Объект должен быть не прозрачным и не глянцевым. Эти требования связаны с принципом работы сканера. Рабочая же зона, по-возможности, должна быть максимально темной для получения большего контраста с объектом сканирования. Далее необходимо создать проект, в котором будут сохраняться полученные при сканировании данные. Для этого необходимо задать имя проекта и указать адрес, по которому он будет сохранен (рис. 7.2). После создания проекта необходимо указать требуемые настройки, с которыми будет осуществлено сканирование. Основными из них являются ручная или автоматическая настройка яркости сканирования, формат сохраняемых данных, использование различных 2-D и 3-D фильтров, параметры захвата изображения и др (рис. 7.3 – 7.5). После выполнения ряда сканирований необходимо объединить полученные данные между собой для формирования 3-D модели. Как было упомянуто выше, технология формирования объемной модели различна для рассматриваемых способов. При «Ручном сканировании» объединение двух областей происходит по меткам, расставленным вручную (рис. 7.6), а при «Сканировании с помощью контрольных точек» по точкам которые были заранее нанесены на сканируемый объект и

их параметры были заданы машине на этапе настройки проекта (рис. 7.4, 7.7).

Диалоговые окна описанной выше последовательности представлены на рис.7.2 – 7.7.

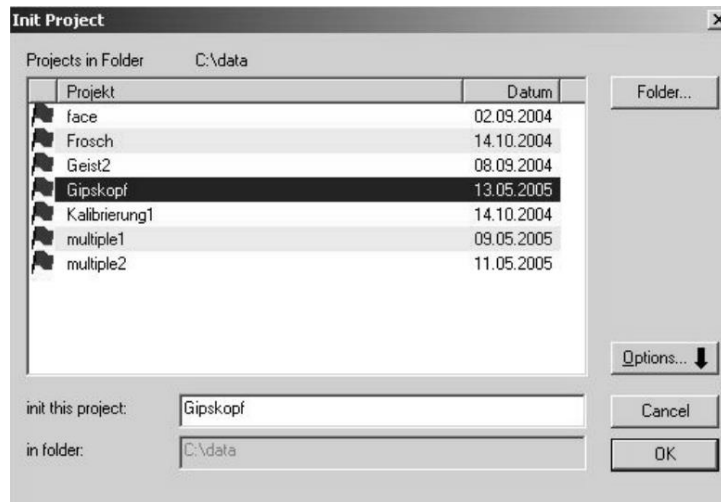
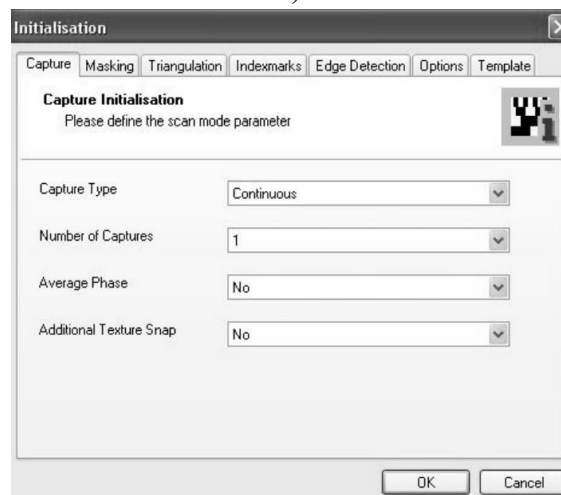


Рис.7.2. Инициализация проекта (задание имени проекта и назначение каталога для сохранения данных)



a)



б)



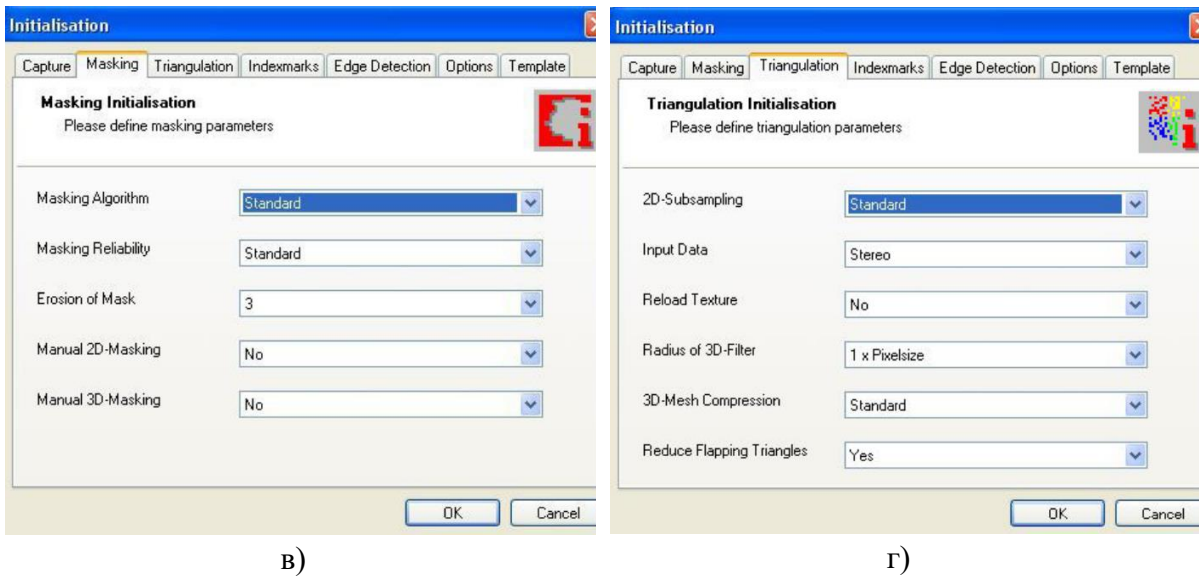


Рис. 7.3. Задание настроек проекта: а), б) – выбор параметров захвата изображения; в), г) – настройки 2-D и 3-D фильтров

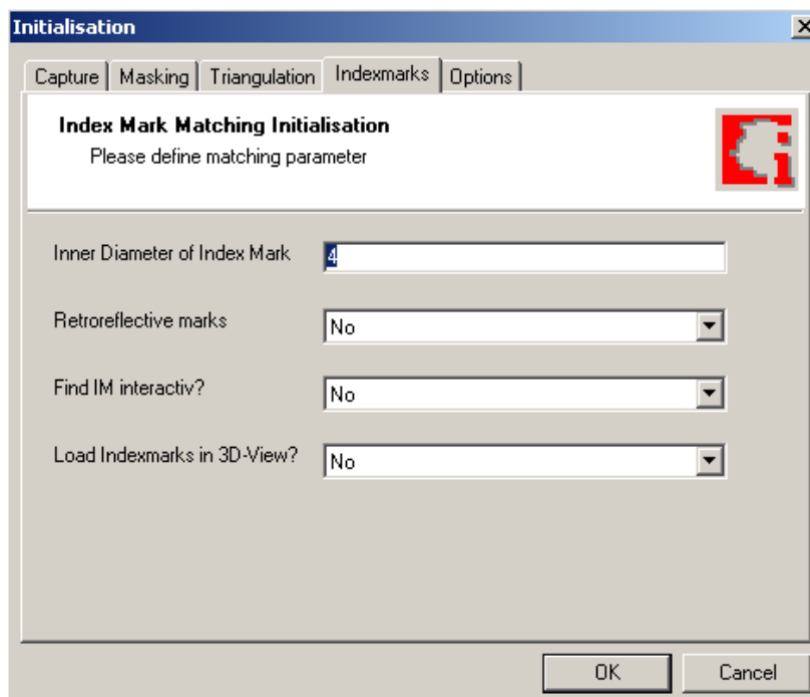


Рис.7.4. Настройка параметров контрольных точек (только для режима «Сканирование с помощью контрольных точек»)

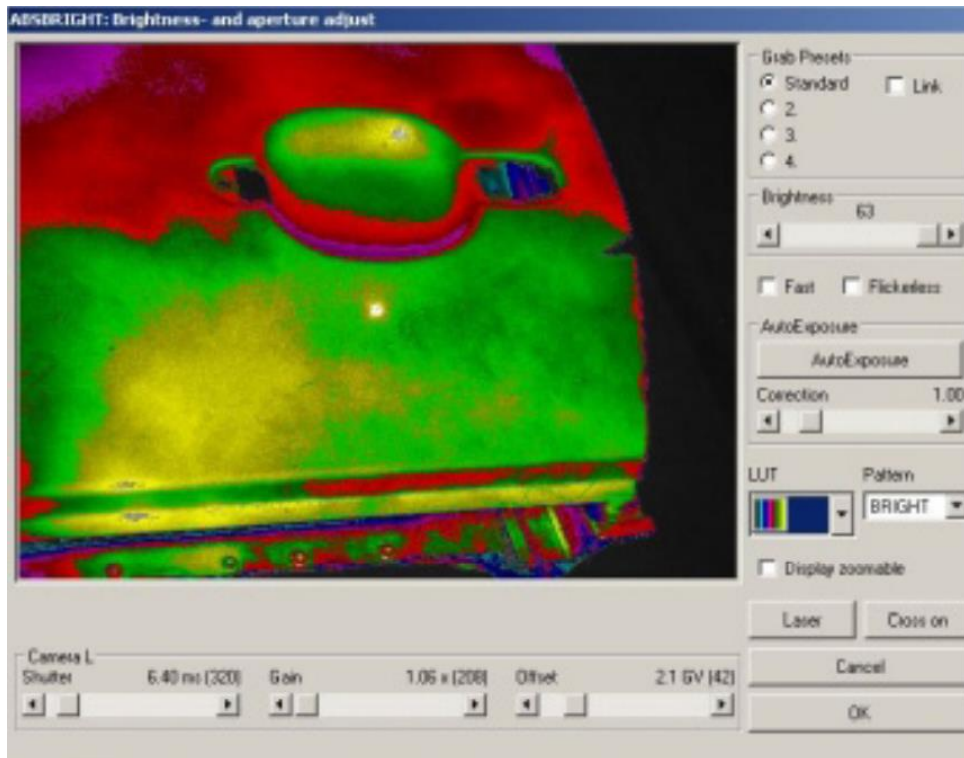


Рис.7.5. Настройка параметров яркости резкости и времени выдержки

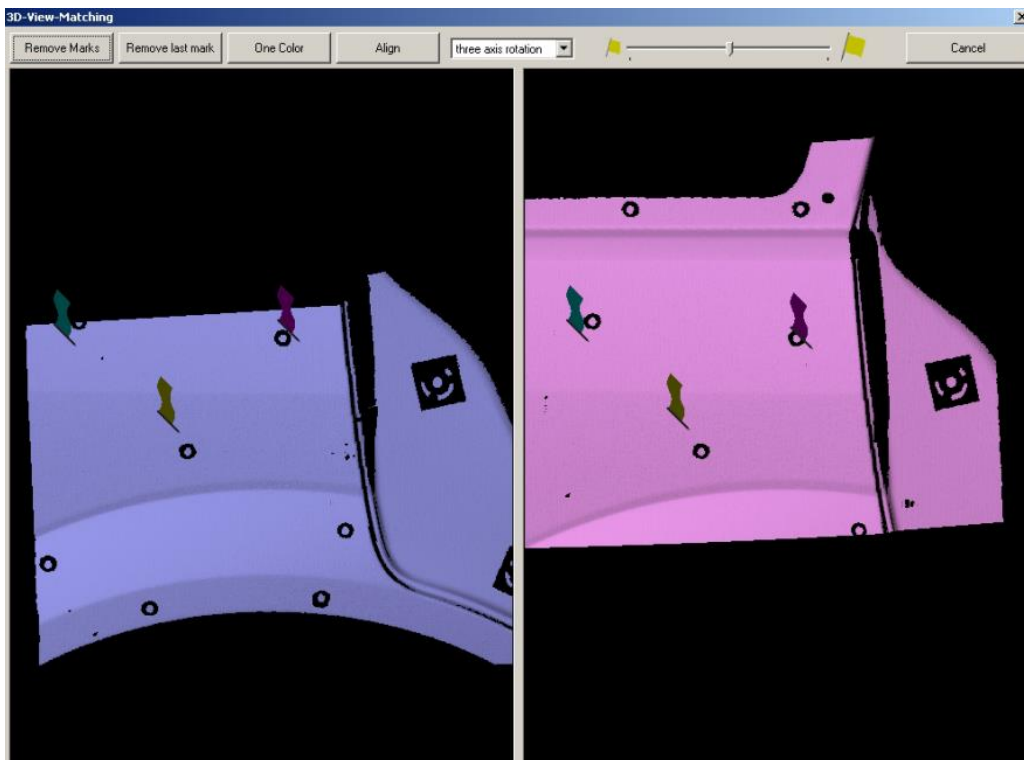
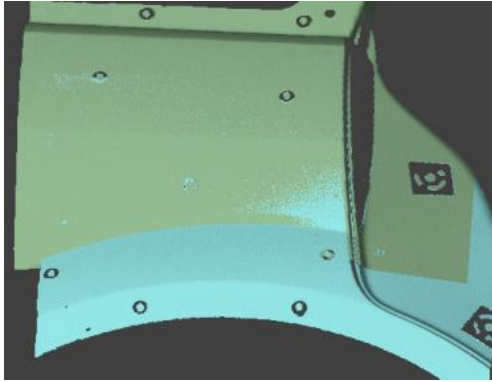
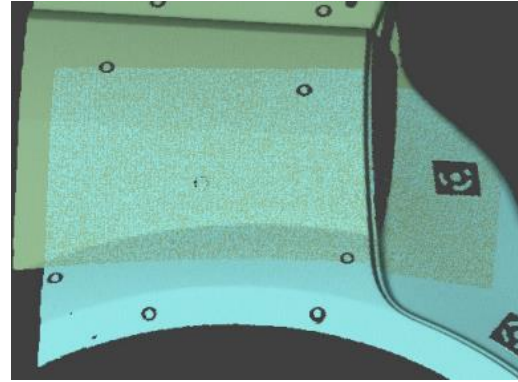


Рис.7.6. Объединение областей сканирования в «ручном режиме»



Объект до автоматического объединения по контрольным точкам



Объект до автоматического объединения по контрольным точкам

Рис.7.7. Объединение областей сканирования в режиме «Сканирование с помощью контрольных точек»

***Порядок выполнения работы:***

1. Ознакомиться с теоретической частью, касающейся устройства и принципа работы 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE;
2. Открыть программное обеспечение AICON OptoCat и инициализировать новый проект;
3. Провести 3-D сканирование объекта в ручном режиме, выполняя следующие операции:
  - a. Выставить камеру на фокусном расстоянии от поверхности модели
  - b. Задать необходимые параметры яркости, резкости и времени выдержки
  - c. Провести сканирование в заданном положении камеры
  - d. После получения поверхности изделия, повторить пункты 3.a – 3.c для стороны детали, смежной с отсканированной ранее
  - e. Сшить поверхности, указав три совпадающие точки на обеих поверхностях
  - f. Повторять пункты 3.a – 3.e до получения 3-D геометрии всего изделия, либо требуемой части
4. Объединить все поверхности и сохранить полученную 3-D геометрию в STL-формате.

***Отчет должен содержать:***

1. Цель и краткие теоретические сведения;
2. Изображения внешнего вида 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE с указанием основных конструктивных элементов;

3. Описание технологии получения 3-D моделей объектов с использованием обоих описанных режимов сканирования с указанием преимуществ и недостатков;

4. Изображения, иллюстрирующие процесс выполнения практической работы в соответствии с приведенным описанием;

5. Вывод по выполненной практической работе.

***Контрольные вопросы:***

1. Укажите классификационные признаки 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE.

2. Укажите основные технические характеристики 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE.

3. Укажите основные преимущества и недостатки 3-D сканера Breuckmann OPTO-TOP HE.

4. Опишите технологию получения 3-D моделей объектов с использованием ручного режима сканирования.

5. Дайте сравнительную оценку ручного и автоматического режимов сканирования.

6. Какие требования предъявляются к сканируемым объектам?

7. Укажите наиболее популярные области применения 3-D сканеров.

8. Какие параметры оказывают влияние на точность сканирования?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При выполнении практических работ студенты освоили навыки работы на оборудовании аддитивного производства, которое основано на использовании наиболее популярных технологий: FDM, SLA, PolyJet и SLM. В практикуме были отдельно представлены технологии создания цифровых моделей трехмерных объектов с применением бесконтактного оптического 3-D сканера, рассмотрено специализированное и универсальное программное обеспечение, позволяющее осуществлять процесс подготовки 3-D моделей к производству с помощью указанных технологий.

Практикум разработан преподавателями, работающими в области аддитивных технологий более пяти лет.

Практикум построен таким образом, что каждая практическая работа содержит краткие теоретические сведения о рассматриваемой технологии и оборудовании, а также обзор основных пунктов меню и команд программного обеспечения на английском языке с параллельным переводом и разъяснениями их значений. Это позволяет изучить нюансы технологий и особенности их реализации с применением конкретных пространственных компоновок оборудования, освоить новые термины и определения, облегчая, таким образом, путь дальнейшего самостоятельного изучения аддитивных технологий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
2. 3DPEN-2В 3D ручка РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ : [электронный ресурс]. – URL: [https://purelogic.ru/docs/stanki\\_i\\_3d\\_printery/3dpen\\_user\\_manual\\_ru.pdf](https://purelogic.ru/docs/stanki_i_3d_printery/3dpen_user_manual_ru.pdf) (дата обращения: 19.01.2022).
3. Яковенко, А. В. 3D-прототипирование и моделирование в сфере нефтегазовых технологий. В 2 ч. Ч. 1 [Текст] : метод. указания / А. В. Яковенко, А. А. Щука.– Ухта : УГТУ, 2014.– 34 с.
4. Слюсар, В. И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант. Конструктор. – 2002. – № 1. 5–7 (2002).
5. Слюсар, В. И. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования. Электроника: наука, технология, бизнес. – 2003. – № 5. 54–60 (2003).
6. Слюсар, В. И. Фабрика в каждый дом. Вокруг света. – № 1 (2008). – Январь, 2008. 96–102 (2008).
7. 3D-принтер MakerBot Replicator 2 // GLOBATEK3D 3D–ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ : [электронный ресурс].– 2008–2022.– URL: [https://3d.globatek.ru/3d-printers/makerbot\\_replicator\\_2/](https://3d.globatek.ru/3d-printers/makerbot_replicator_2/) (дата обращения: 19.01.2022).
8. Download MakerBot Desktop // MakerBot Industries : [электронный ресурс]. – 2009–2021. – URL: <https://support.makerbot.com/s/article/Download-MakerBot-Desktop/> (дата обращения: 19.01.2022).
9. 3D-принтер 3D Systems ProJet 1200 // GLOBATEK3D 3D–ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ : [электронный ресурс].– 2008–2022.– URL: [https://3d.globatek.ru/3d-printers/ProJet\\_1200/](https://3d.globatek.ru/3d-printers/ProJet_1200/) (дата обращения: 19.01.2022).

10. Зленко, М.А., Попович, А.А., Мутылина, И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. - Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета. - 2013. – С. 87 - 96. – 222 с.

11. ProJet™ 1200 Профессиональный 3D-принтер Руководство пользователя : [электронный ресурс].– URL: <http://static2.insales.ru/files/1/8130/1425346/original/23ec57fec93b5470d1d024d2eea1686e.pdf> (дата обращения: 19.01.2022).

12. 3D Systems Reveals Geomagic Print: Universal Print Driver for Professional-Grade 3D Printers // 3D Systems, Inc. : [электронный ресурс].– 2022.– URL: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-reveals-geomagic-print-universal-print-driver-professional-grade-3d> (дата обращения: 19.01.2022).

13. 3D-принтер Stratasys Objet 30 Pro // ГЛОБАТЕК3D 3D-ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ : [электронный ресурс].– 2008–2022.– URL: [https://3d.globatek.ru/3d-printers/objet30\\_pro/](https://3d.globatek.ru/3d-printers/objet30_pro/) (дата обращения: 19.01.2022).

14. Болотов, М. А. Использование инновационных технологий при изготовлении деталей ГТД: учеб.-метод. пособие / М.А. Болотов, Р.А. Вдовин, А.И. Хаймович. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 216 с.

15. Software Downloads // Stratasys Ltd. : [электронный ресурс].– 2015–2022.– URL: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-reveals-geomagic-print-universal-print-driver-professional-grade-3d> (дата обращения: 19.01.2022).

16. 3D-Принтер Concept Laser Mlab cusing M2 // 3Dtool : [электронный ресурс].– 2013–2022.– URL: <https://3dtool.ru/product/3d-printer-concept-laser-mlab-cusing-m2/> (дата обращения: 19.01.2022).

17. Materialise Magics. Программное обеспечение для подготовки данных к 3D-печати // GLOBATEK3D 3D-ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ : [электронный ресурс].– 2008–2022.– URL: <https://3d.globatek.ru/program/magics/> (дата обращения: 19.01.2022).

18. Лысыч, М. Н. Современные системы 3D сканирования / М. Н. Лысыч, М. Л. Шабанов, В. В. Жадобкина. – // Молодой ученый : [электронный ресурс].– 2014. – № 20 (79). – С. 167-171. – URL: <https://moluch.ru/archive/79/12581/> (дата обращения: 19.01.2022).

19. 3D-Сканер ОРТОТОР-HE // «ГЕО-НДТ» - оборудование для измерений, контроля и испытаний : [электронный ресурс].– 2010–2021.– URL: <https://www.geo-ndt.ru/pribor-3451-3d-skaner-optotop-he.htm> (дата обращения: 19.01.2022).



*Учебное электронное издание*

БЕЛЯЕВ Леонид Викторович  
ЖДАНОВ Алексей Валерьевич

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Практикум

*Издается в авторской редакции*

**Системные требования:** Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;  
дисковод CD-ROM.

**Тираж 25 экз.**

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Изд-во ВлГУ  
rio.vlgu@yandex.ru

Кафедра технологии машиностроения  
zhdanov@vlsu.ru