

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра «Автоматика и управление»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ / Л.С. Казаринов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автоматизация 3D-печати

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ – 270304.2020.378 ПЗ ВКР

Руководитель проекта

Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ / Барбасова Т.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор проекта

студент группы КЭ-418

\_\_\_\_\_ / Загорский Д.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер

Доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ / <Барбасова Т.А.>

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Загорский Д.В. Автоматизация 3D-печати: Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-418; 2020, 89 с., 35 ил., 5 табл., библиогр. список – 73 наим., 1 прил., 4 л. чертежей ф. А4.

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается принцип работы и автоматизация 3D-печати.


В первой главе описана вводная часть, а именно как зародилась 3D-печать, с чего начиналась данная сфера науки. Также, указаны виды 3D-принтеров и виды 3D-печати и их достоинства и недостатки.

Во второй главе указан подбор компонентов предмета автоматизации и обоснование выбора именно этих компонентов.

В третьей главе описана программная часть, где сделан уклон на G-кодирование и преобразование координатных вершин(вертексов) в G-код.

В четвертой главе рассмотрена автоматизация процесса печати с помощью конвейерной ленты, приведены схемы и описаны все процессы работы ленты.

В последней главе был разработан алгоритм и обоснование его использования, также разработанное устройство было использовано в мелкосерийном производстве.

					<b>270304.2020.378 ПЗ</b>		
	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	Загорский Д.В.				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>	Барбасова Т.А.					3	88
<i>Н.кон</i>	Барбасова Т.А.				ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)"		
<i>Утв.</i>	Казаринов Л.С.				Кафедра "АиУ"		
					Автоматизация 3D-печати		

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ .....	6
2 ВЫБОР КОМПОНЕТОВ .....	21
2.1 Выбор компонентов .....	22
2.2 Выбор платы управления .....	23
2.3 Описание силовой части.....	25
2.4 Выбор драйвера двигателей.....	27
2.5 Описание шаговых двигателей.....	28
2.6 Выбор нагревательных элементов и терморезисторов .....	31
2.7 Выбор направляющих валов.....	34
2.8 Выбор линейных подшипников .....	34
2.9 Высокотемпературная полиамидная лента .....	36
2.10 Нить-материал для изготовления различных форм предметов.....	37
3 ПРОГРАММИРОВАНИЕ.....	38
3.1 Нарезка модели и передача инструкций в микроконтроллер .....	38
3.2 G-code .....	42
3.3 Алгоритм получения модели .....	52
4 АВТОМАТИЗАЦИЯ.....	54
5 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРИНТЕРА ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....	71
5.1 Обоснование отличия в изготовлении объектов в мелкосерийном производстве между автоматизированной печатью и при отсутствии автоматизации .....	71

Из	Лист	№ докум	Подпись	Дата

270304.2020.378 ПЗ

Лист

4

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	80

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		5

## 1 ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

К 1995 году в мире сложилась такая интересная экономическая ситуация, что самые популярные фирмы и корпорация стали не только бороться с конкурентами за их потребителей продукции, но и идти на поводу у них и выполнять все их потребности и пожелания. Самое важное и удивительное, что самую однообразную продукцию (часы, автомобили) перестали приобретать большими почти миллионными партиями. В этот момент началось понимание того, что начинается эра мелкосерийного производства. Но и компании обнаружили что разработка различных форм и прототипов мелкосерийного производства обходится достаточно недешево [14].

Само собой, в это время становятся популярными установки, машины и механизмы, способные с минимальными экономическими затратами изготавливать различные модели. Первыми из них стали станки с числовым программным управлением. Многие из них так и остались в этой сфере производства, но достаточно быстрое и интенсивное развитие данной ветви науки привело к моментальному появлению офисных принтеров с возможностью объемной печати. Так и началась история развития 3D-печати [15].

Первоначальным и самым первым в истории устройством для изготовления 3D-моделей стала разработанная в 1986 году и сразу запатентованная SLA-250 установка Чарльза Халла (рисунок 1). В этом принтере был использован такой метод печати как стереолитография. Это был далеко не последний принтер с объемной печатью, но уже тогда он определил все алгоритмы работы 3D-принтера. Самая важная деталь для понимания – объекты наслаиваются послойно друг на друга.

Халл понимал, что у мелкосерийного производства существует развитие и основал фирму 3D Systems. Под экономической поддержкой этой фирмы он создает первое устройство объемной печати и называет его Stereolithography

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		6

Apparatus. Первой значимой моделью, которая имела широкое распространение в США, стала уже описанная выше установка SLA-250.



Рисунок 1 – Чарльз Халл

В начале 90-х годов начал использоваться другой способ получения объемных объектов и моделей – метод наплавления. Его разработал Скотт Крамп, соучредитель компании Stratasys. После патентования данного типа печати начали активно разделяться и использоваться два термина: лазерный и струйный 3D-принтер [13].

После истечения в 2009 году срока действия патента на эту технологию люди могли использовать этот тип печати, не платя Stratasys. Также пользователи больше не обязывались платить Stratasys открывая коммерческие, DIY и открытые (RepRap) приложения для 3D-принтеров. Это привело к падению цены на два порядка с момента создания этой технологии. Но Stratasys по-прежнему владеет товарным знаком под термином «Fused Deposition Modeling».

В 1993 году стартовал следующий более современный этап развития 3D-печати. Он начался вместе с созданием компании Solidscape. Она занималась производством струйных принтеров, которые пришли на замену трехмерным. Чуть позже двумя студентами из Массачусетского технологического института был модифицирован один из таких принтеров. Его отличительная функция была в том, что он создавал модели не на бумаге или другой жесткой поверхности, а в

специальной емкости, которая внешне похожа на бассейн, и модель получалась вполне объемной и осязаемой. В этот момент и появился термин 3D-печать. Данный метод также запатентовали в Z Corporation, которую основали эти же два студента из института. Z Corp. и в настоящее время производит принтеры, которые используют данную технологию печати [19].

История создания современного 3D-принтера продолжилась появлением новейшей технологии печати PolyJet. Она основывается на применении лампы. Процесс таков: печатная голова послойно выдавливает фотополимерный жидкий пластик, и он моментально засвечивается данной лампой. основанной на использовании фотополимерного жидкого пластика. Метод оказался выигранным по многим параметрам: цена его значительно ниже, а высокая точность дает возможность изготовления не просто моделей, но готовых к применению деталей.

Развитие 3D-индустрии ускорялось с каждым годом и основывались новые фирмы, которые предлагали потребителям то, чего не было ни у одной другой фирмы. Такие фирмы вносили свой вклад в развитие и разработку новых методов печати и в новые более современные 3D-принтеры, материалы, алгоритмы и принципы печати. Также меняли размеры и цены таких устройств, к примеру, первые устройства были огромны и могли не помещаться даже в комнату или офис. Сейчас же почти каждое печатающее устройство можно установить на стол, за исключением промышленных принтеров. Современный принтер, печатающий объемные модели все больше похож на обычный, печатающий на бумаге. Но современные материалы, такие как ABS и PLA отличаются высокой прочностью, поэтому они так и распространены в наше время [8].

Ценовая часть индустрии также менялась сквозь года. В начале развития технологий такой принтер могли себе позволить только крупные фирмы, сейчас же почти каждый человек может приобрести или собрать свой собственный 3D-принтер. Средняя цена современного принтера составляет примерно 1000\$ [6].

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		8

## Классификация 3D-принтеров

В современном мире существует четыре класса(типа) 3D-принтеров: потребительский, профессиональный, персональный и промышленный. Каждый из них несет в себе определенную цель и функции. Применяются данные принтеры также в разных отраслях и их стоимость очевидно отличается.

### Потребительский

Данный тип принтеров предназначен только для личного использования. Доставляется в виде конструктора или уже в готовом собранном виде (рисунок 2). Большинство моделей таких принтеров появилось в следствие реализации проекта RepRap.

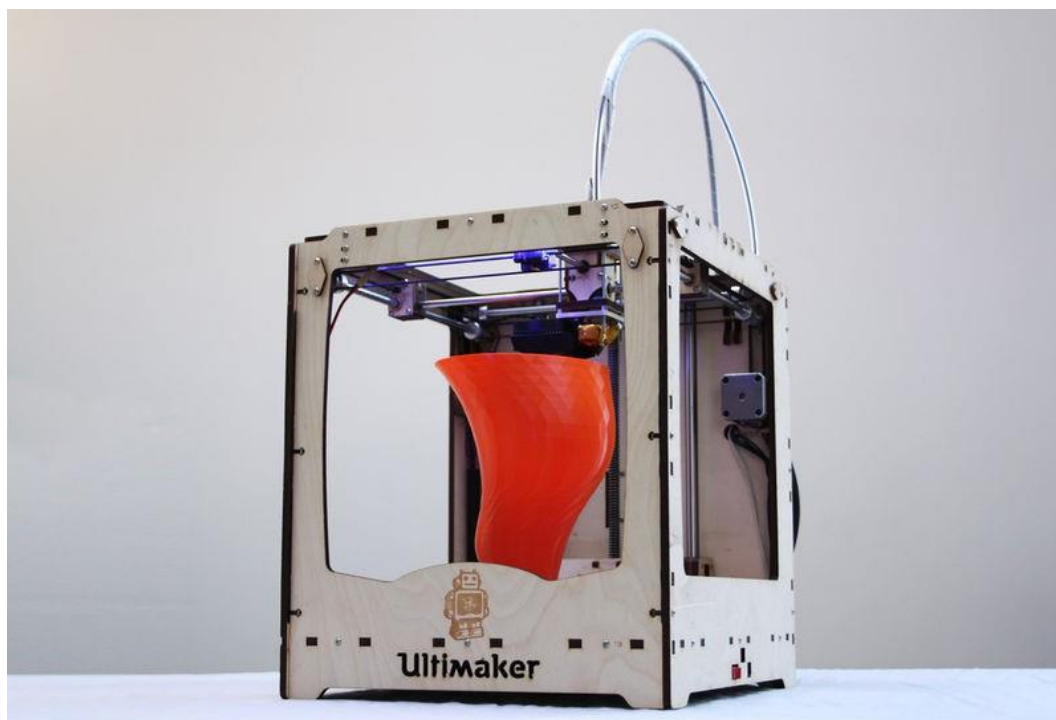


Рисунок 2 – 3D принтер компании Ultimaker

Такие принтеры обладают интуитивный интерфейс и спроектированы для обычного потребителя. Чаще всего, такие устройства поддерживают только два материала для печати: ABS и PLA пластик. Высокоточные и

									Лист
									9
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.378 ПЗ				



профессиональные объекты, сделанные в каком-либо ПО напечатать будет достаточно сложно. Но для обычных распространенных моделей этот принтер подойдет. Цена таких принтеров от 500 до 3000\$. Ориентированы на стандартных потребителей таких как дизайнеры, художники, изобретатели, также на тех, кто работает дома [19].

### Персональный

Персональный класс принтеров является пограничным классом. Он относится к домашним принтерам, но также и к нижней ступени промышленных принтеров, которые используются в бизнесе, связанным с мелкосерийным производством. Такие установки появились в связи с реакцией на быстрое развитие индустрии (рисунок 3). Они имеют много общего с принтерами из потребительского класса. Отличаются только повышенной точностью и скоростью печати, в то время как остальные показатели достаточно похожи. Использовать данные принтеры также просто и все сводится к загрузке модели или образа и нажатию кнопки “Пуск”.

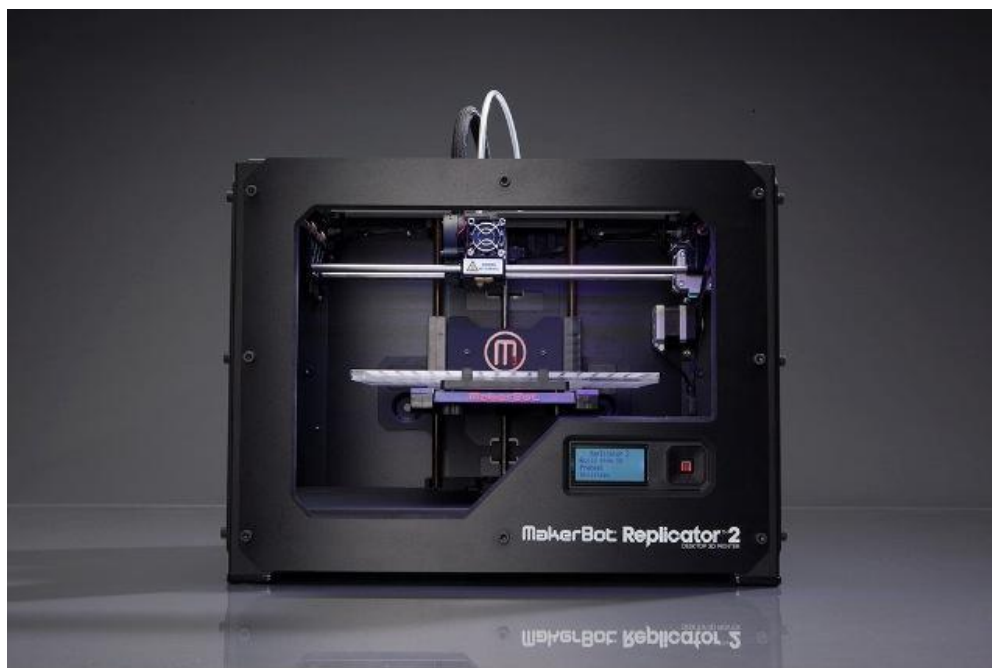


Рисунок 3 – 3D принтер компании MakerBot

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		10

Такие принтеры принято использовать в офисах и размещать на некотором расстоянии от рабочей зоны, так как они шумные и их температурный режим может влиять на потребителя. Ориентированы на малый бизнес с небольшим бюджетом, но в котором существует потребность в использовании таких установок. Цена таких принтеров от 2000 до 30000\$ [18].

### Профессиональный

Такие принтеры требуют немного большей рабочей зоны, так как выглядят эти системы как холодильники (рисунок 4).



Рисунок 4 – Профессиональный 3D принтер

Профессиональные принтеры самые распространенные среди всех остальных. Их предназначение может быть разным. Многие компании используют их для полномасштабного производства, малая часть для прототипирования. Поэтому такие принтеры могут подойти и для огромных

корпораций, так и для малого бизнеса с малым штатом сотрудников. Также эти принтеры требуют определенных навыков для работы с ним, поэтому в большинстве компаний существует должность – оператор 3D-принтера. Данные устройства требуют отдельного помещения с хорошей вентиляцией и высоковольтной линией.

В отличие от своих малых братьев, данные принтеры, ввиду большого количества режимов и дополнительных опций, уже требуют определенных навыков для работы с ними, поэтому без оператора здесь не обойтись. По части рабочего пространства здесь тоже не все так просто. Они очень большие и шумные, поэтому требуют отдельного помещения с хорошей вентиляцией. Цена такого принтера от миллиона до 10 миллионов рублей [21].

#### Производственный

Данные принтеры сочетают в себе лучшие возможные параметры и характеристики: высокий уровень контроля процессов и автоматизации в целом, большая площадь печати. На таких установках можно сразу печатать готовый проект без какого-либо эскиза или прототипа (рисунок 5).



Рисунок 5 – Производственный 3D принтер

Такие системы не предназначены для рядовых потребителей и пользователей, так как стоят такие установки достаточно дорого и работодателю хочется задействовать 3D-принтер на 24 часа 7 дней в неделю. Также предполагается большое заранее спланированное помещение с высоковольтной линией и газовой трубой. В итоге, мы получаем высокотехнологичную установку, которую можно подстраивать под разные виды производства и использовать различные материалы хоть ABS-полимер, хоть титан. Но и цена такого принтера от 250 000 до 1 000 000\$ [20].

В современном мире 3D-печать используется почти во всех сферах от медицины до автопроизводства. Буквально за 30 лет в мире изменилось достаточно многое. Первые, кто начал осознавать скорость развития данной индустрии компания General Electric. В данный момент они производят детали из титана для авиационных двигателей напечатанные на 3D-принтере [9].

### Популярные технологии 3D-Печати

#### FDM (Моделирование методом наплавления)

Существует много технологий 3D-печати, самая популярная называется моделированием методом наплавления (рисунок 6). Она очень проста: сложные объекты создаются из расплавленного пластика, выдавленного через сопло. Намотанная на катушку пластиковая нить (или даже металлический провод), разматываясь, подаётся в экструзионное сопло, при этом управляемый компьютером механизм, перемещает само сопло или объект (или оба) вдоль трёх осей. После выдавливания (экструзии) материал моментально затвердевает. Для всех этих перемещений, также, как и для подачи нити в экструдер, обычно используются шаговые двигатели или сервомоторы [10].

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		13

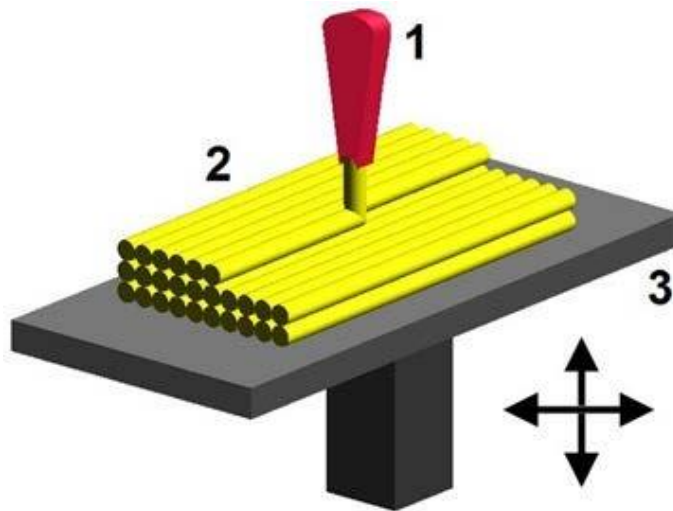


Рисунок 6 – Моделирование методом наплавления

Описание рисунка: 1 – экструдер подает расплавленный пластик, 2 – осажденный материал (часть модели), 3 – управляемый подвижный столик.

### Технология Polyjet

Технология была изобретена израильской компанией Objet в 2000 году. Суть технологии: фотополимер маленькими дозами выстреливается из тонких сопел, как при струйной печати, и сразу полимеризуется на поверхности изготавливаемой детали под воздействием УФ излучения (рисунок 7).

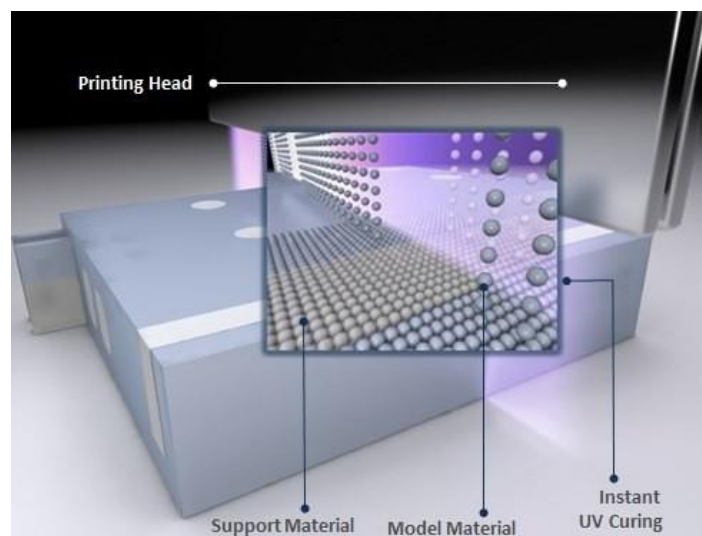


Рисунок 7 – Технология Polyjet

Важная особенность, отличающая PolyJet от стереолитографии, является возможность печати различными материалами.

Преимущества технологии:

- толщина слоя до 16 микрон (клетка крови 10 микрон);
- быстро печатает, так как жидкость можно наносить очень быстро.

Недостатки технологии:

– печатает только с использованием фотополимера – узко специализированный, дорогой пластик, как правило, чувствительный к УФ и достаточно хрупкий.

Применение: промышленное прототипирование и медицина.

LENS(Технология лазерной плавки)

Материал в форме порошка выдувается из сопла и попадает на сфокусированный луч лазера (рисунок 8). Часть порошка пролетает мимо, а та часть, которая попадает в фокус лазера мгновенно спекается и слой за слоем формирует трехмерную деталь. Именно по такой технологии печатают стальные и титановые объекты [11].



Рисунок 8 – Технология лазерной наплавки



Поскольку до появления этой технологии печатать можно было только объекты из пластика, к 3D печати особенно серьезно никто не относился, а эта технология, открыла двери для 3D печати в «большую» промышленность. Порошки различных материалов можно смешивать и получать таким образом сплавы, на лету.

Применение: титановые лопатки для турбин с внутренними каналами охлаждения.

Производитель оборудования: Optomec.

LOM(Метод ламинирования)

Тонкие ламинированные листы материала вырезаются с помощью ножа или лазера и затем спекаются или склеиваются в трехмерный объект (рисунок 9). Т.е. укладывается тонкий лист материала, который вырезается по контуру объекта, таким образом получается один слой, на него укладывается следующий лист и так далее. После этого все листы прессуются или спекаются.

Таким образом печатают 3D модели из бумаги, пластика или из алюминия. Для печати моделей из алюминия используется тонкая алюминиевая фольга, которая вырезается по контуру слой за слоем и затем спекается с помощью ультразвуковой вибрации [7].

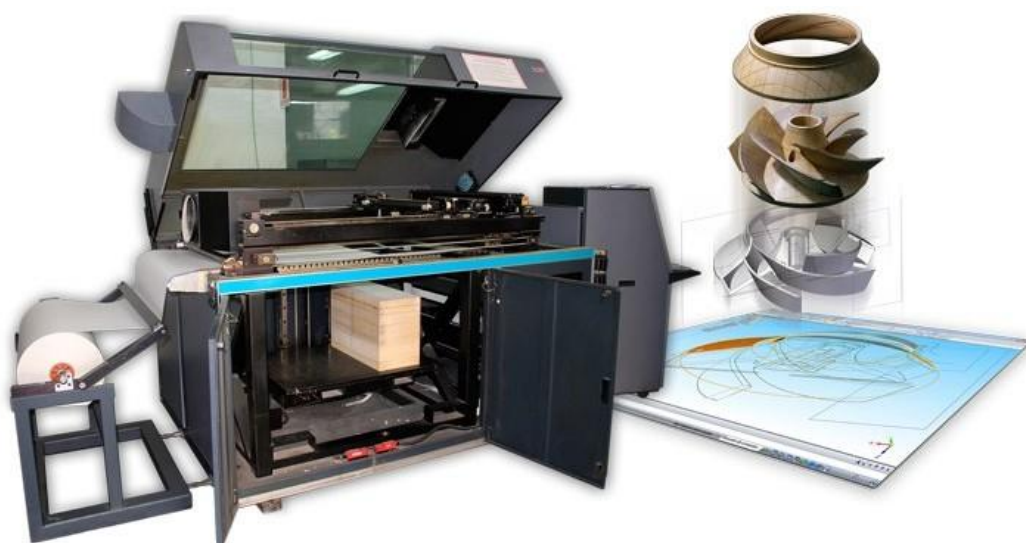


Рисунок 9 – 3D принтер, производящий объекты методом ламинирования

## SL(Стереолитография)

Есть небольшая ванна с жидким полимером. Луч лазера проходит по поверхности, и в этом месте полимер под воздействием УФ полимеризуется (рисунок 10). После того как один слой готов платформа с деталью опускается, жидкий полимер заполняет пустоту далее запекается следующий слой и так далее. Иногда происходит наоборот: платформа с деталью поднимается вверх, лазер соответственно расположен снизу...

После печати таким методом, требуется постобработка объекта — удаление лишнего материала и поддержки, иногда поверхность шлифуют. В зависимости от необходимых свойств конечного объекта модель запекают в т.н. ультрафиолетовых духовках.

Фотополимер зачастую бывает токсичным поэтому при работе с ним нужно пользоваться средствами защиты и респираторами. Содержать и обслуживать такой принтер дома — сложно и дорого.

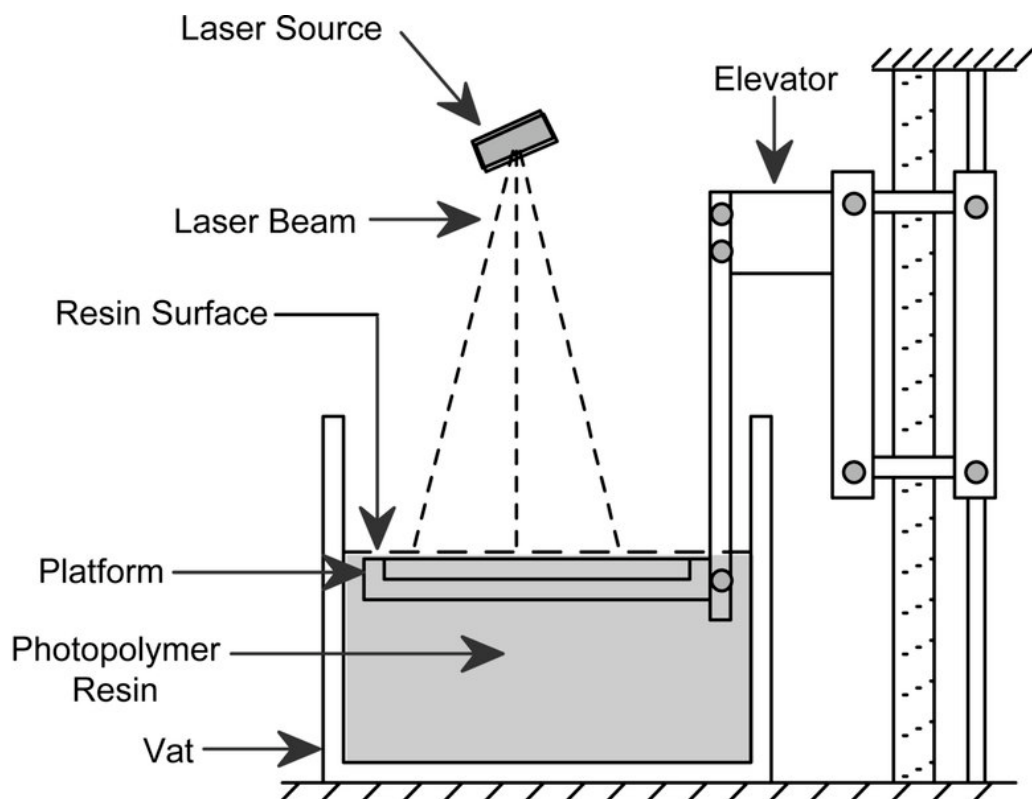


Рисунок 10 – Стереолитография



Преимущества:

- быстро и точно, точность до 10 микрон;
- для спекания фотополимера достаточно лазера от Blu-ray проигрывателя, благодаря чему на рынке появляются дешевые при этом точные принтеры, работающие по такой технологии.

LS(Лазерное спекание)

Лазерное спекание. Похоже на SL, только вместо жидкого фотополимера используется порошок, который спекается лазером (рисунок 11).

Преимущества:

- менее вероятно, что деталь сломается в процессе печати, так как сам порошок выступает надежной поддержкой;
- материалы в порошковой форме довольно легко найти в продаже в том числе это могут быть: бронза, сталь, нейлон, титан [12].

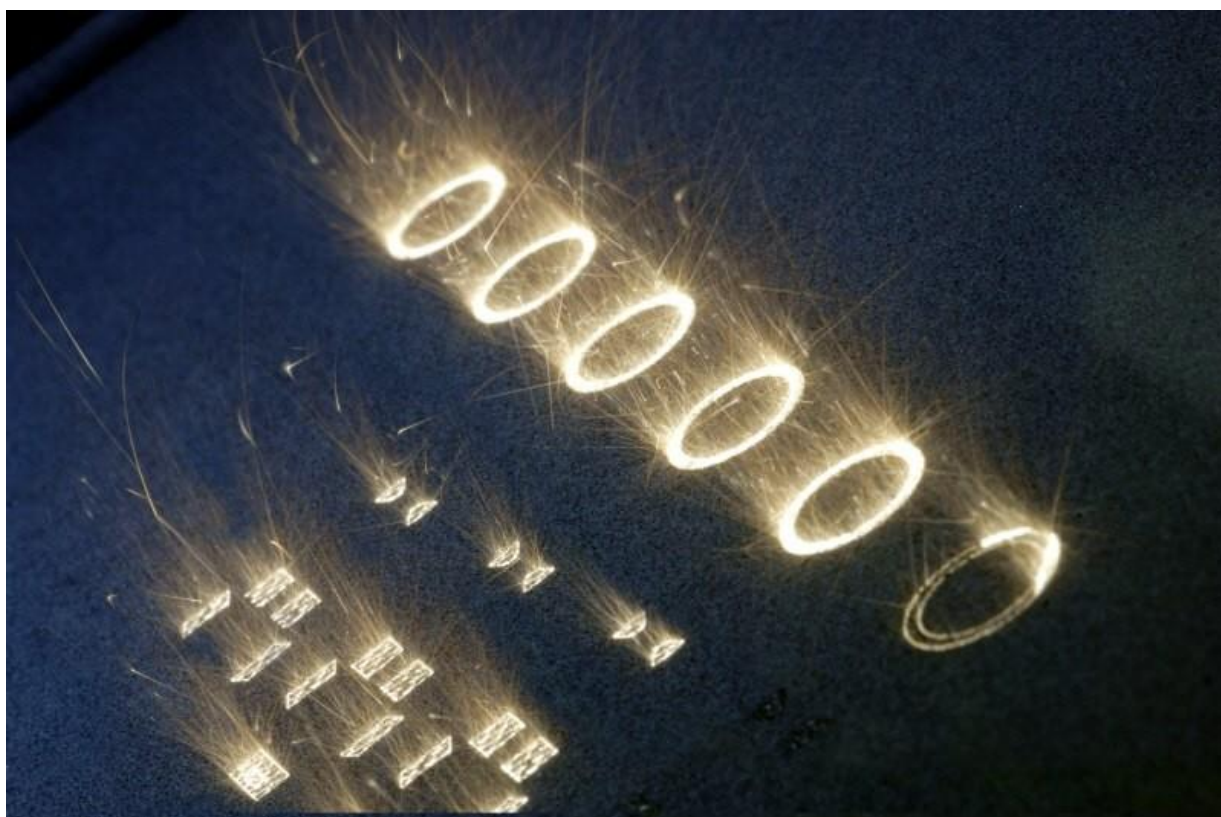


Рисунок 11 – Лазерное спекание

#### Недостатки:

- поверхность получается пористая;
- некоторые порошки взрывоопасны, поэтому должны храниться в камерах, заполненных азотом;
- спекание происходит при высоких температурах, поэтому готовые детали долго остывают, в зависимости от размера и толщины слоев, некоторые предметы могут остывать до одного дня.

#### 3DP(Трехмерная струйная печать)

Технология изобретена в 1980 году в MIT студентом Paul Williams, технология была продана в несколько коммерческих организаций, одна из которых — zCorp, в настоящее время поглощена 3D Systems.

На материал в порошковой форме наносится клей, который связывает гранулы, затем поверх склеенного слоя наносится свежий слой порошка, и так далее. На выходе, как правило, получается материал sandstone (похожий по свойствам на гипс), представлен на рисунке 12.

#### Преимущества:

- так как используется клей, в него можно добавить краску и таким образом печатать цветные объекты;
- технология относительно дешевая и энергоэффективная;
- можно использовать в условиях дома или офиса;
- можно печатать использовать порошок стекла, костный порошок, переработанную резину, бронзу и даже древесные опилки.

Используя похожую технологию можно печатать съедобные объекты, например, из сахара или шоколадного порошка. Порошок склеивается специальным пищевым клеем, в клей может добавляться краситель и ароматизатор.

Как пример, новые 3D принтеры от компании 3D systems, которые были продемонстрированы на CES 2014 — ChefJet и ChefJet Pro [14].

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		19



Рисунок 12 – Струйная трехмерная печать

Недостатки:

- на выходе получается достаточно грубая поверхность, с невысоким разрешением ~ 100 микрон;
- материал нужно подвергать постобработке (запекать), чтобы придать ему необходимые свойства.

Постановка задачи: Целью выпускной квалификационной работы является разработка автоматизированного устройства, печатающего 3D-детали по их STL модели.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проведение обзора технологий и обоснование выбранных компонентов для нашего устройства.
2. Разработка и описание программной части.
3. Разработка концепции автоматизированной системы управления технологическим процессом и представление схемы автоматизации объекта;
4. Выбор технических средств автоматизации и оборудования;

## 2 ВЫБОР КОМПОНЕТОВ

Объект автоматизации представляет собой 3D принтер с печатной головкой (экструдер) для нагрева и выдавливания материала, подогреваемой платформой, с установленными: платой микроконтроллера (рисунок 13) и платой силовой части с драйверами двигателей.

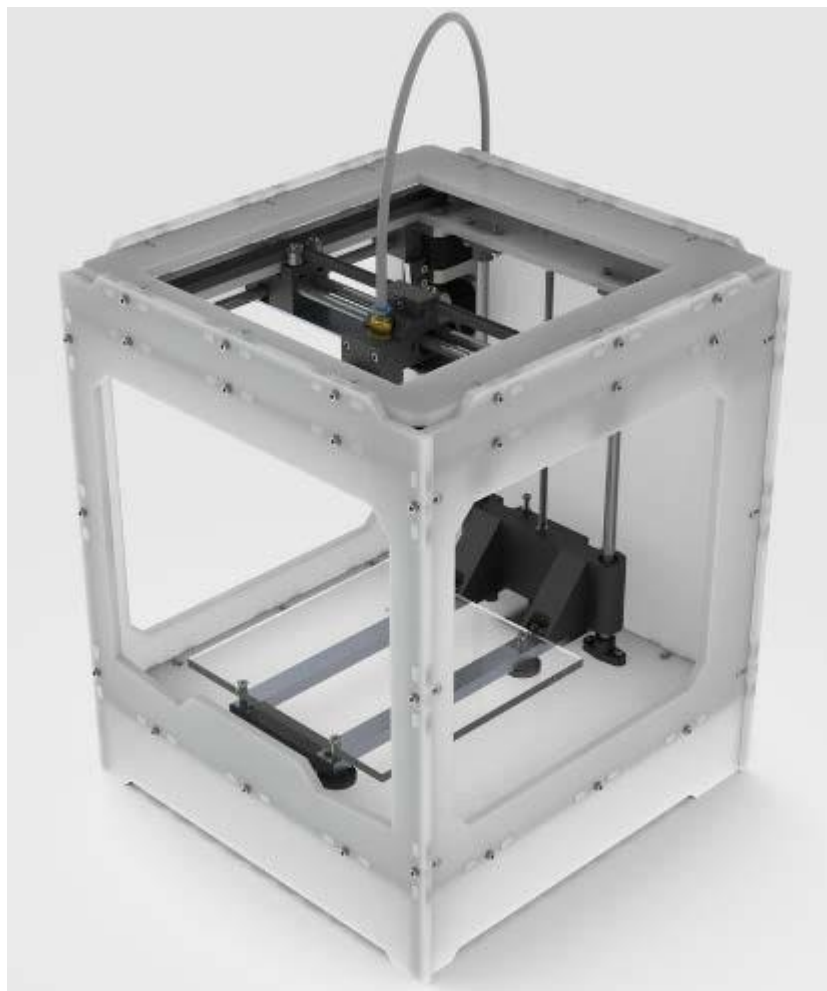


Рисунок 13 – 3D-принтер на основе микроконтроллера ATmega 2560

На стенде, установлены четыре двигателя, для движения печатной головки по оси X и Y, движения подогреваемой платформы по оси Z и подачи материала в печатающую головку. Также установлен блок питания форм-фактора АТХ, мощностью 350 Вт.

Конструкция аналогична ЧПУ станку, отличие только в процессе создания

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		21

объекта. 3D-печать достигается посредством аддитивных процессов, во время которого каждый слой материала кладётся в разной форме. Это отличает её от традиционных техник механической обработки, большинство которых основано на удалении материала путём его обрезания или сверления (субтрактивные процессы).

Две боковые стенки принтера изготовлены из оргстекла, остальные из фанерной доски. Направляющие валы, экструдер, подогреваемая платформа закреплены на пластиковых деталях, которые в свою очередь закреплены на фанерной доске с помощью болтов и гаек размера М3. Между собой стенки закреплены алюминиевыми уголками.

На задней стенке станда установлена плата микроконтроллера ATmega 2560 с установленной на ней силовой частью и драйверами двигателей оснащенные микросхемой A4988.

Питание всей схемы производится напряжением +12 вольт от блока питания, установленного на задней стенке станда. Питающие провода подключаются в колодку питания на силовой плате, от которой параллельно питается плата микроконтроллера.

## 2.1 Выбор компонентов

Микроконтроллеры являются основой современной электроники и электронной техники. Они находят применение в устройствах различного применения, будь то электронные часы или системы управления технологическим процессом на заводах. При выборе элементной базы не возникает вопросов, какие электронные компоненты использовать, поскольку сразу стало очевидно, что поставленные задачи можно решить только с использованием в разработке микроконтроллеров. Но совершенно очевидно, что хоть микроконтроллеры могут решать довольно сложные задачи, их использование требует глубоких знаний программирования, а также определенного умения и опыта [2].

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		22

Самой подходящей для выполнения данной работы, является фирма Atmel, поскольку ее микроконтроллер ATmega2560 в составе отладочной платы Arduino Mega имеет некоторые значительные преимущества:

- плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки;

- наличие огромного количества примеров программ, библиотек, которые помогают значительно ускорить разработку электронных устройств;

- наличие встроенного программатора;

- большая устойчивость к воздействиям внешних факторов (резкие изменения температуры, удары молний).

Поэтому выбор был остановлен на микроконтроллере ATmega2560 (рисунок 14)., поскольку он обладает необходимыми возможностями для выполнения моей работы, является высокопроизводительным, имеет хороший объем flash памяти.



Рисунок 14 – Микроконтроллер ATmega2560

## 2.2 Выбор платы управления

В качестве платы управления используется Arduino Mega с установленным

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		23



на нем микроконтроллером ATmega2560 (рисунок 15).



Рисунок 15 – Отладочная плата Arduino Mega

Основные характеристики Arduino Mega 2560 представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Основные характеристики Arduino Mega 2560

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	54 (из которых 15 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	16
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	256 КБ из которых, 8 КБ используются загрузчиком
SRAM	8 КБ
EEPROM	4 КБ
Тактовая частота	16 МГц

Предельно допустимые значения:

– напряжение питания постоянного тока, от +7В до +12В;

- максимальный выходной ток на один выход, 40 мА.

Назначение:

- отладочная плата предназначена для ускорения процесса разработки и отладки электронной аппаратуры;
- может являться частью промышленно выпускаемой электронной аппаратуры;
- в составе учебного стенда может использоваться для изучения микроконтроллера ATmega2560 фирмы Atmel.

Основные особенности:

- Arduino Mega 2560 отличается от всех предыдущих плат тем, что в нем для преобразования интерфейсов USB-UART вместо микросхемы FTDI используется микроконтроллер ATmega16U2;
- защита всех линий ввода-вывода токоограничивающими резисторами;
- распиновка 1.0: добавлены выводы SDA и SCL (возле вывода AREF), а также два новых вывода, расположенных возле вывода RESET. Первый – IOREF: позволяет платам расширения подстраиваться под рабочее напряжение Ардуино. Данный вывод предусмотрен для совместимости плат расширения как с 5В Ардуино на базе микроконтроллеров AVR, так и с 3.3В-платами Arduino Due. Второй вывод ни к чему не подсоединен и зарезервирован для будущих целей;
- улучшена помехоустойчивость цепи сброса.

### 2.3 Описание силовой части

В качестве платы силовой части была выбрана плата RAMPS 1.4 (RepRap Arduino Mega Pololu Shield). В нем пять независимых контроллеров: три - для шаговых двигателей (ось X, Z, Y), два - для экструдеров (можно подключить один или два экструдера). Имеется выход для нагревательного стола, термисторов стола и экструдеров, выход на коннектор SD карты, SPI и I2C. 6 выходов для концевых выключателей [16].

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		25



Основные особенности:

- расширения возможностей платы при помощи дополнительных плат расширения;
- Mosfets для обогревателей и вентилятора с выходами для работы с тремя схемами использующих контроль нагрева при помощи термисторов;
- плавкий предохранитель на 5А для дополнительной защиты компонентов платы;
- блок управления для обогрева печатного стола с дополнительным 11А предохранителем;
- одновременное управление 5-ю двигателями;
- I2C и SPI разъёмы для будущего расширения;
- все Mosfets подключены в разъем ШИМ для универсальности.

Разъёмы для подключения оборудования имеют вид такой же, как на Сервоприводах. Эти разъёмы рассчитаны на нагрузку 3А, очень компактны и доступны во всем мире.

Плата имеет светодиоды индикации нагрева печатного стола и Экструдера. Рисунок платы показан на рисунке 16.

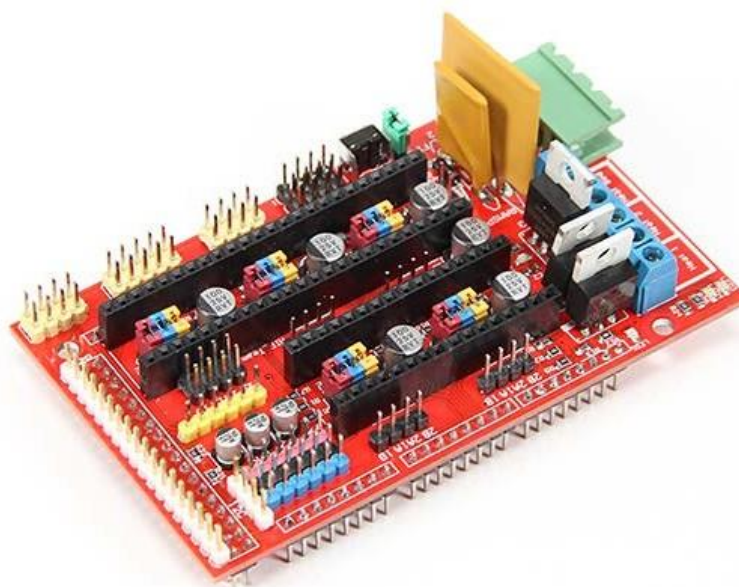


Рисунок 16 – Плата силовой части RAMPS

## 2.4 Выбор драйвера двигателей

Для управления двигателями выбрано использовать микросхему A4988 компании Allegro – драйвер биполярного шагового двигателя (рисунок 17), Особенности этого драйвера являются регулируемый ток, защита от перегрузки и перегрева. Для работы с драйвером необходимо питание логического уровня (3 - 5,5 В), подаваемое на выводы VDD и GND.

Используя данный драйвер, можно управлять шаговым двигателем с довольно широким диапазоном питающего напряжения от 8 до 35 вольт и может обеспечить ток до 1А на фазу без радиатора и дополнительного охлаждения (дополнительное охлаждение необходимо при подаче тока в 2А на каждую обмотку).

Основные особенности:

- простой интерфейс управления шагом и направлением вращения электродвигателя;
- пять различных разрешений перемещения: полный шаг, 1/2-шага, 1/4-шага, 1/8-шага, 1/16-шага;
- регулируемый контроль тока с помощью потенциометра, позволит установить максимальный выходной ток. Это даст вам возможность использовать напряжение выше допустимого диапазона для достижения более высокой угловой скорости шага двигателя;
- интеллектуальное управление автоматически выбирает режим регулировки затухания тока (медленный и быстрый режимы);
- защитное отключение при перегреве и перегрузке по току, а также блокировка питания при пониженном напряжении;
- защита от короткого замыкания на землю, защита от замыкания в нагрузке.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		27

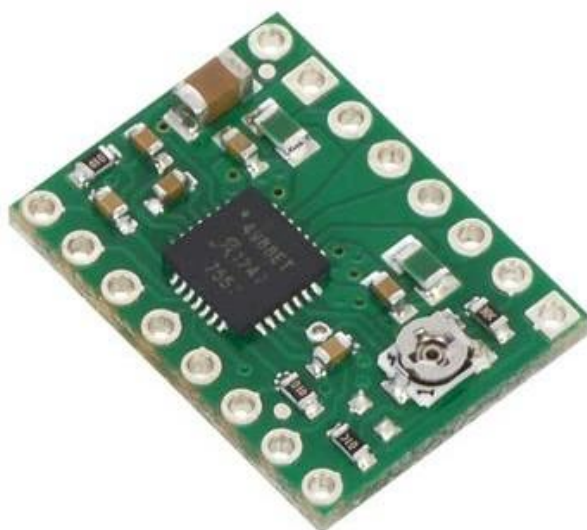


Рисунок 17 – Микросхема драйвера двигателей A4988

## 2.5 Описание шаговых двигателей

Шаговые двигатели («stepper motors» или «stepping motors» - англ.) – это одна из разновидностей бесколлекторных двигателей, которая применяется в периферийных устройствах компьютерной техники, приводах дисководов, робототехнике, промышленном оборудовании и т.п.

Их основное отличие – это то, что при подаче на обмотки двигателя импульса напряжения поворот его ротора осуществляется на некоторый угол, или, как принято говорить, шаг («step» - англ.), отсюда и название двигателя. Этот шаг определяется конструктивными особенностями двигателя и схемой управления. Он не зависит от тока обмоток, следовательно, не зависит и от величины импульса напряжения, поданного на такой двигатель. Шаговый двигатель позволяет осуществлять позиционирование его ротора с точностью до долей градуса, что абсолютно недостижимо для других типов двигателей. Скорость вращения двигателя определяются только частотой следования импульсов управления.

Момент, развиваемый двигателем, зависит как от тока в обмотках, так и от длительности поданного на них импульса. Момент вращения ротора шагового двигателя, максимален на минимальной скорости вращения.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		28

Ротор такого двигателя можно достаточно жестко зафиксировать в нужном положении без применения тормозных и удерживающих систем, например, электромагнитных муфт. Для этого достаточно сохранить ток в обмотках двигателя в заданном положении ротора, и он будет зафиксирован в нужном положении. Естественно, он будет находиться в этом положении до тех пор, пока внешний приложенный момент не превысит момента удержания ротора. Шаговые двигатели, в отличие от коллекторных двигателей, практически вечны. Эти свойства шаговых двигателей и определили их сферу применения - устройства точного позиционирования (станки с точной подачей резца, например, гравировальные и фрезерные, управление манипуляторами в робототехнике, различные автоматы, 3D-принтеры и т.п.).

В данном стенде для точного позиционирования исполнительного органа используются гибридные шаговые двигатели.

Гибридные двигатели являются более дорогими, чем двигатели с постоянными магнитами, зато они обеспечивают меньшую величину шага, больший момент и большую скорость. Гибридные двигатели сочетают в себе лучшие черты двигателей с переменным магнитным сопротивлением и двигателей с постоянными магнитами. Ротор гибридного шагового двигателя имеет зубцы, расположенные в осевом направлении.

Типичное число зубцов гибридного двигателя от 100 до 400 (угол шага  $3,6...0,9^\circ$ ). Статор гибридного двигателя также имеет зубцы, обеспечивая большее количество эквивалентных полюсов, на которых расположены обмотки. Обычно используется 4 основных полюса для  $3,6^\circ$  и 8 основных полюсов для  $1,8^\circ$  или  $0,9^\circ$ . Большинство двигателей этого типа имеют 100 полюсов (50 пар), и с учетом двухфазного исполнения полное количество полюсов равно 200, а угол шага равен  $1,8^\circ$  ( $360/200$ ).

Кроме конструктивных особенностей, связанных с исполнением ротора, двигатели отличаются и исполнением обмоток статора.

В зависимости от конфигурации обмоток, двигатели делятся на

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		29

униполярные и на биполярные и имеют три варианта исполнения конфигурации обмоток. На рисунке 18 показаны варианты исполнения обмоток шагового двигателя [4].

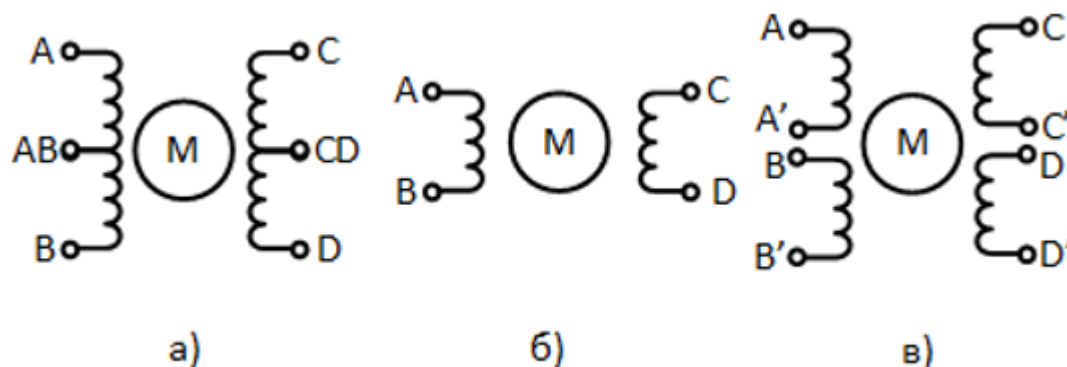


Рисунок 18 – Варианты исполнения обмоток статора шагового двигателя:  
а) униполярный; б) биполярный; в) четырехобмоточный

В данной разработке для позиционирования исполнительного органа будет использоваться шаговый двигатель 17HS4401 серии Nema 17 изображенный на рисунке 19.

Технические характеристики:

- модель: 17HS4401;
- угловой шаг:  $1.8^\circ \pm 5\%$ ;
- число фаз: 2;
- номинальный ток: 1.7 А;
- сопротивление фазы: 1.5 Ом;
- индуктивность фазы: 2.8 мГн;
- момент инерции: 54 г x см<sup>2</sup>;
- момент удержания: 4 кг x см;
- масса: 0.28 кг.

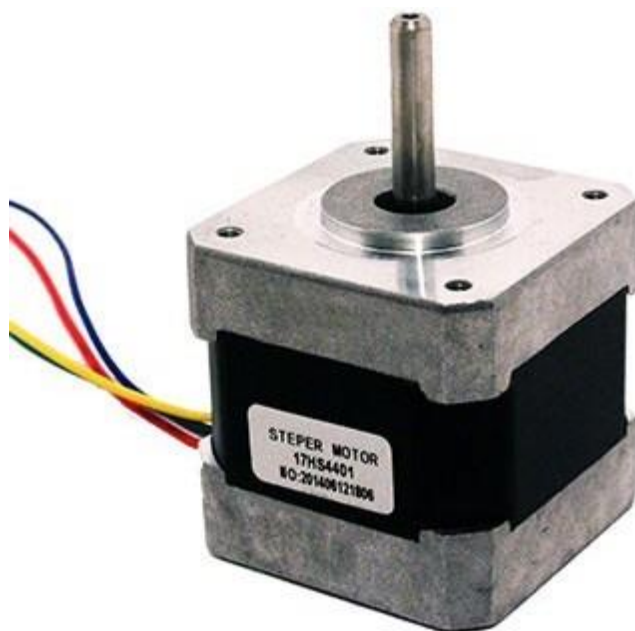


Рисунок 19 – Шаговый двигатель 17HS4401

## 2.6 Выбор нагревательных элементов и терморезисторов

Для данного стенда необходимо подобрать два нагревательных элемента, для стола, на которой размещается печатаемая модель и экструдера [17].

### Нагревательный стол

Нагревательный стол для 3D-принтера помогает лучше прилипнуть пластику и не допускает "скручивания" во время остывания. Так как стол из стеклотекстолита и при нагреве деформируется, то поверх нагреваемого стола ложится зеркало для того чтобы поверхность была идеально ровной. Для улучшения фиксации печатаемой детали к столику используется термоскотч, который выдерживает температуру до 300 градусов. В центре нагреваемый стол имеет отверстие для установки термистора, который используется для контроля температуры.

В данном стенде был установлен нагреваемый стол МК2В, изображенный на рисунке 20.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		31



Рисунок 20 – Подогреваемый стол MK2B

#### Технические характеристики:

- размер стола: 214x214мм;
- материал: стеклотекстолит FR4;
- монтажные отверстия: 209x209мм;
- напряжение питания: 12В или 24В;
- максимальная температура 12/24V - 110/150 градусов;
- потребляемый ток: минимальный 10А;
- сопротивление нагревательных элементов: 1.8 Ом.

#### Нагревательный элемент экструдера

Нагревательный элемент в экструдере необходим для размягчения пластика в экструдере, для последующего выдавливания пластиковой нити

диаметром 1,75 через сопло диаметром от 0,2 до 0,6 мм.

В данном стенде в качестве нагрева экструдера служит керамический нагревательный элемент (рисунок 21), рассчитанный на 12 В, 40 Вт.

В отличие от обычного резистора имеет большую мощность и соответственно скорость нагрева, что положительно сказывается на качестве печати, т.к. во время печати головка экструдера греется быстрее, а значит амплитуда температурных колебаний уменьшается.



Рисунок 21 – Керамический нагревательный элемент

### Терморезистор

Терморезистор (термистор) - это полупроводниковый резистор, в котором используется зависимость электрического сопротивления от температуры. Изменение температуры терморезистора, а, следовательно, его сопротивление может быть вызвано либо изменением температуры окружающей среды, либо нагревом терморезистора, проходящим через него током, либо воздействием обоих этих факторов.

В качестве терморезистора в стенде используется NTC термистор сопротивлением 100 кОм, сопротивление которого падает с увеличением температуры.

### Технические характеристики:

- значения сопротивления:  $R(25\text{ °C}) = 100\text{K} \pm 1\%$ ;
- диапазон рабочих температур: от -50 до +260°C.



## 2.7 Выбор направляющих валов

В качестве направляющих были выбраны полированные валы диаметром 8 мм, которые обеспечивают линейное перемещение подшипников, а, следовательно, рабочего органа. Направляющие выполнены из углеродистой стали с закалкой на глубину 1.5 мм.

## 2.8 Выбор линейных подшипников

Линейный подшипник в паре с цилиндрическим стержнем можно отнести к направляющим прямолинейного движения, также их называют шариковыми втулками, линейными втулками. Направляющие прямолинейного движения — это опоры, которые обеспечивают прямолинейность перемещения деталей (столов, суппортов, ползунов) в заданном направлении и воспринимают действующие на них силы. С появлением на рынке СНГ дистрибьюторов таких известных фирм, как Bosch, SKF, HIWIN, линейные подшипники находят все большее применение. В общетехнических справочниках отсутствует даже упоминание о линейных подшипниках.

Основным достоинством линейных подшипников является малая сила сопротивления движению.

Линейные подшипники применяют в машинах, если необходимо: уменьшить силы сопротивления движению для перемещения деталей вручную и для перемещения тяжелых деталей; медленно равномерно перемещать или точно устанавливать детали; перемещать детали с высокой скоростью.

Линейный подшипник (рисунок 22) состоит из: наружной гильзы, тел качения, сепаратора, уплотнения и запорных колец.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		34

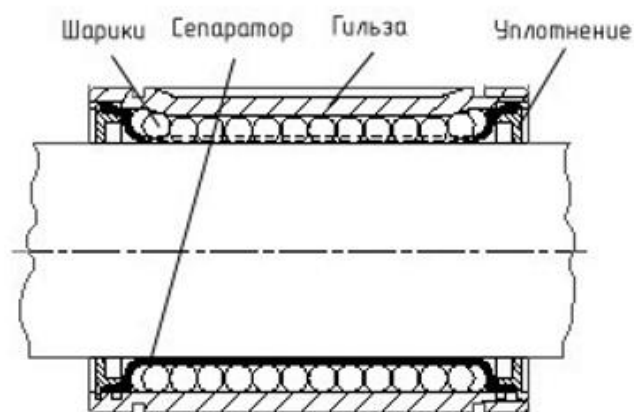


Рисунок 22 – Элементы линейного подшипника

Наружная гильза является корпусом линейного подшипника. Гильза имеет высокую твердость и шлифованную поверхность

Тела качения представляют собой шарики, выполненные из подшипниковых сталей, обладающих антифрикционными свойствами. Шарики циркулируют по замкнутой траектории в сепараторе.

Уплотнение скребкового типа служит для предотвращения попадания грязи в подшипник и сохранения в нем смазки. Уплотнение может быть встроенного и разделяемого типа. Уплотнение разделяемого типа рекомендуется при работе в загрязненной среде.

Запорные кольца служат для фиксации линейного подшипника в корпусе и ничем не отличаются от применяемых в машиностроении пружинных кольцевых стопоров. Возможна поставка подшипника как с кольцами, так и без них.

В данной разработке были применены линейные подшипники LM8UU компании HIWIN, изображенные на рисунке 23.

Технические характеристики:

- материал: углеродистая сталь;
- внутренний диаметр, мм: 8;

- внешний диаметр, мм: 15;
- длина, мм: 24.



Рисунок 23 – Линейные подшипники LM8UU компании HIWIN

## 2.9 Высокотемпературная полиамидная лента

Полиамидная лента, также известная под названием каптоновая лента, обычно используется в электрике или электронике. Ее свойства включают в себя устойчивость к высоким температурам, большое усилие на разрыв и великолепная сопротивляемость к химическим веществам.

В электрической и электронной индустрии каптоновая лента имеет несколько определенных сфер применения, таких как:

- изоляционная обмотка катушек трансформаторов и двигателей;
- обмотка и крепление окончаний термоустойчивых катушек;
- защита термометров сопротивления;
- изоляция конденсаторов, пучков проводов и других компонентов, работающих в условиях высоких температур.

В индустрии изготовления монтажных схем, каптоновая лента подходит для обеспечения защиты от нагрева и попадания воды на выключатели, трансформаторы, реле, печатные платы и другие электронные детали

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		36

поверхностного монтажа (SMT).

Также, данная лента может быть применена при волновой спайке, изоляции в бытовой технике класса люкс, изоляции двигателей, а также для крепления анодов и катодов в литиевых батареях.

Полиамидная лента в данной разработке применяется для закрепления термистора в экструдере и нагревательном столе, также лента используется для печати на нем моделей из ABS пластика, т.к. у полиамидной ленты очень высокая адгезия.

## 2.10 Нить-материал для изготовления различных форм предметов

В настоящее время существуют два вида пластика, широко используемых для недорогой 3D печати и несколько менее распространенных. Интересно то, что разрабатываются и тестируются многие виды пластика, имеющих куда более широкий диапазон физических, химических и механических характеристик, что открывает путь к использованию 3D печати в различных направлениях. Доступ к новым печатным материалам может круто изменить рынок материалов для печати [22].

Пластиковые прутки производятся в двух стандартах: диаметром 1.75 мм и

3.0 мм. Трехмиллиметровый пруток – более старый стандарт, он постепенно вытесняется 1.75-мм, который выдавливается немного легче, управляется немного лучше и оставляет меньше висячих хвостов с боков вашего изделия. В любом случае, множество современных принтеров до сих пор используют 3 мм прутки, и он, иногда, немного дешевле чем 1.75 мм.

### Полилактид(PLA)

Наиболее распространенная пластмассовая нить, сделанная из полимолочной кислоты (или полилактид (PolyLactide Acid) – сокращено PLA53), биоразлагаемый и экологичный пластик получаемый из растительного сырья (кукуруза, сахарный тростник, пшеница, сахарная свёкла). Температура

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.378 ПЗ					

плавления в пределах 180–230 °С. Он не имеет неприятного запаха во время печати и его пары не опасны, поэтому не требуется специальных мер безопасности или принудительной вентиляции.

Он хорошо держится на печатном основании при комнатной температуре (не требуя более дорогого нагреваемого основания для принтера), но только если платформа покрывается синим скотчем (также недорогой продукт, который необходимо время от времени заменять – главным образом, потому что он иногда получает повреждения во время удаления объекта с платформы).

Объекты, напечатанные PLA, крепкие, но относительно хрупкие, и не могут использоваться при высоких температурах (как для некоторых частей самого 3D принтера).

Нить PLA довольно недорогая, ее стоимость в среднем 30\$ за 1 кг, и она обычно продается в катушках по 0.5, 1 или 2.3 килограмма (но некоторые изготовители продают метрами). Она доступна в естественном (белый матовый) цвете или во множестве ярких цветов, чистых или полупрозрачных, отпечатанные объекты имеют красивую гладкую поверхность.

### Акрилонитрилбутадиенстирол(ABS)

Вторая наиболее распространенная нить, изготовленная из акрилонитрилбутадиенстирола (Acrylonitrile Butadiene Styrene), кратко ABS55. Основанная на нефтепродуктах пластмасса, используемая для различных целей, одна из хорошо известных – это детали конструктора LEGO.

## 3 ПРОГРАММИРОВАНИЕ

### 3.1 Нарезка модели и передача инструкций в микроконтроллер

Этот шаг, вероятно, наиболее интересен в долгом процессе перехода от идеи к реальному трехмерному объекту, поскольку он раскрывает в мельчайших и глубоких деталях работу 3D-принтера для преобразования грубой пластиковой

										Лист
										38
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат						

270304.2020.378 ПЗ

нити в наши конечные модели. Подготовка 3D-модели для печати - это тонкое сочетание технических знаний и науки, и для освоения этой процедуры требуется достаточно времени.

Перед печатью нашу модель (сохраненную или экспортированную в файл STL) следует преобразовать в набор инструкций для принтера (стандартный формат, называемый g-кодом): эта задача называется нарезкой (поскольку модель "нарезается" на многие тонкие горизонтальные слои, которые будут последовательно напечатаны), выполняется с использованием набора программ, называемых слайсерами (рисунок 24).

Фактически, информация, содержащаяся в файле STL, бесполезна для принтера, потому что она содержит только длинный список координат  $\langle X, Y, Z \rangle$ , которые определяют вершины, которые составляют множество полигональных поверхностей сетки объекта (рисунок 25).

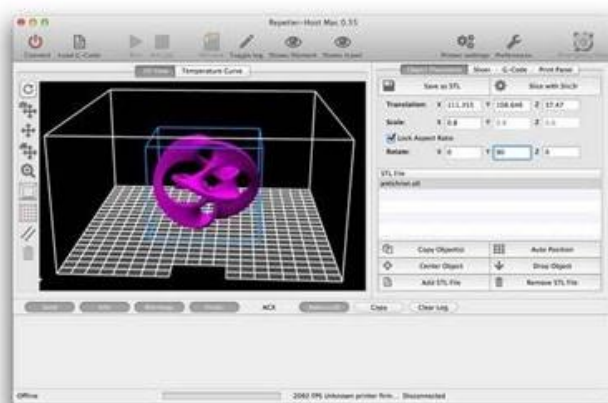


Рисунок 24 – Главное окно программы-слайсера

Принтеру нужна другая информация: движения печатающей головки и / или платформы в разных направлениях X, Y и Z, количество выдавленного пластика и точное время, когда необходимо начать и остановить экструзию, температура сопла и печать платформа и так далее ...

Такое «преобразование» из координат вершин в команды печати является сложной вычислительной задачей и не может быть обработано в реальном времени ограниченным процессором самого принтера во время печати, поэтому

это необходимо сделать заранее на внешнем компьютере. Другая причина для этого состоит в том, что такой процесс нарезки требует ряда дополнительных параметров, которые должен быть предоставлен пользователем (например, высота слоя является только наиболее очевидной, но есть много других), и графический интерфейс Настоящий компьютер значительно облегчает эту задачу.

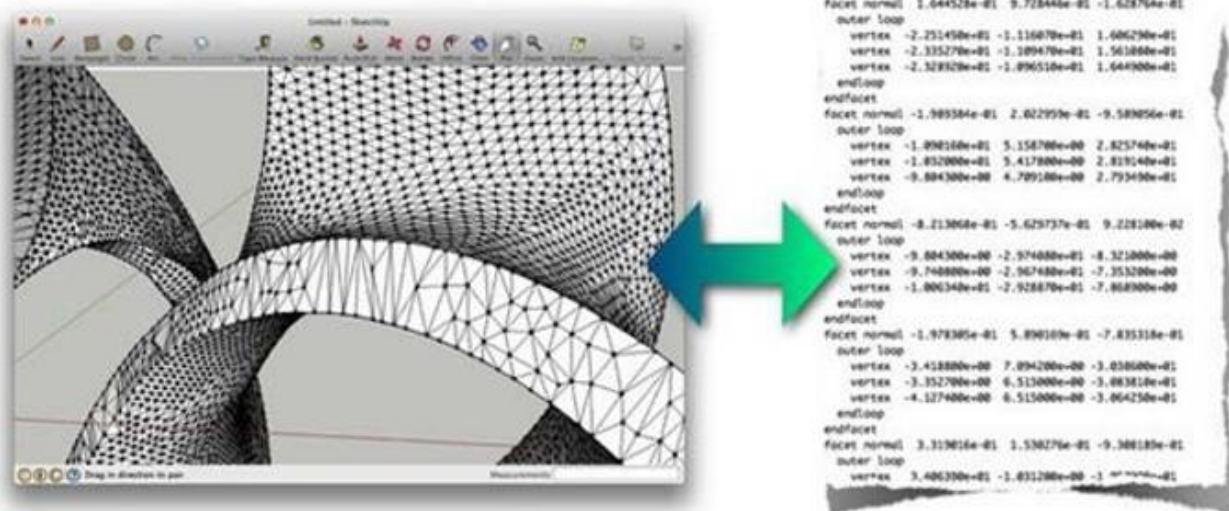


Рисунок 25 – Полигональная сетка модели формата stl и её текстовый вид

Стандартная процедура нарезки, исходя из вышеописанного, приблизительно такова:

- запуск программы слайсер на компьютере;
- загрузка STL-файл модели;
- преобразовывание/масштабирование/вращение модели, пока она не будет правильно расположена на рабочей платформе;
- ввод всех параметров необходимых для правильной печати;
- запуск процесса нарезки и ожидание создания g-кода;
- отправка g-кода принтеру через USB соединение.

Первые два шага довольно очевидны, но третий может потребовать дополнительной информации.

Программа нарезки сконфигурирована со всеми параметрами 3D-принтера, которые вам могут понадобиться, поэтому она знает размеры платформы печати и может продемонстрировать расположение модели относительно нее.

Пользователь может переставлять модель по трем осям до тех пор, пока она не будет отцентрирована, и не будет располагаться точно на поверхности основания (она не должна быть «подвешена в воздухе»), а также вращать ее при необходимости.

Возможность масштабировать модель также очень полезна, потому что единица длины никогда не определяется в файле STL, поэтому может случиться, что программа моделирования использует сантиметры, в то время как слайсер ожидает миллиметры, и в результате модель в 10 раз меньше, поэтому необходимо учитывать этот фактор.

Другой причиной небольшого увеличения масштаба модели (примерно на 0,5% для ABS, еще меньше для PLA) является сжатие пластика при его охлаждении при комнатной температуре (коэффициент теплового расширения ABS обычно составляет около  $75 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ , при условии, что он затвердевает при  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$  и охлаждается до  $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ , что дает коэффициент сжатия приблизительно 0,5%).

На пятом этапе наша 3D-модель «разрезается» на множество горизонтальных слоев (рис. 26), превращаясь в стопку тонких деталей, каждая из которых обрабатывается отдельно, чтобы рассчитать наилучший путь сопла при укладке расплавленного пластика в правильные места; повторяя этот маршрут, печатающая головка практически выполняет ту же работу (то есть слой за слоем).





(ISO 7-bit). Производители систем управления используют G-код в качестве основного подмножества языка программирования, расширяя его по своему усмотрению [1].

Программа, написанная с использованием G-кода, имеет жесткую структуру. Все команды управления объединены в кадры - группы, состоящие из одной или нескольких команд. Кадр заканчивается символом перевода строки (CR / LF). Кадр состоит из команд (слов), сформированных с использованием буквенно-цифрового набора. Рекомендуется составлять управляющую программу таким образом, чтобы в нее записывалась только геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая изменяется относительно предыдущего кадра. Значения графических и управляющих символов должны соответствовать указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Значения графических и управляющих символов

Символ	Значение
Значения символов адресов	
F	Функция подачи
G	Подготовительная функция
I	Параметр интерполяции параллельно оси X
J	Параметр интерполяции параллельно оси Y
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
X	Первичная длина перемещения, параллельно оси X
Y	Первичная длина перемещения, параллельно оси Y
E	Первичная длина перемещения, параллельно оси E (Экструдер)
Значения управляющих символов и знаков	
;	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не обрабатывается
+	Математический знак плюс
-	Математический знак минус

Окончание таблицы 2

Символ	Значение
Значения цифровых символов	
0	Цифра 0
1	Цифра 1
2	Цифра 2
3	Цифра 3
4	Цифра 4
5	Цифра 5
6	Цифра 6
7	Цифра 7
8	Цифра 8
9	Цифра 9

Примечание: в программе графического интерпретатора параметры интерполяции по осям X, Y соответственно I и J это координаты центра круга относительно начала дуги, по тем же осям, в дальнейшем будем придерживаться определения данных символов. Графическая интерпретация выполняется только в плоскости XY.

Для удобства программиста указывается номер кадра управляющей программы (не учитывается устройством), затем следует кадр с соответствующим номером (таблица 2). Программа управления должна заканчиваться символом «Выключение двигателя» (таблица 3).

Таблица 3 – Пример управляющей программы

Программа	Значение
N1 G90 G1 X0 Y-150 E2 F1500	Первый кадр программы с соответствующим номером
; N2 G90 G1 X50	Комментарии, которые не будут обрабатываться станком
N3 G91 G3 X0 Y50 I0 J5 E4 F20	Круговая интерполяция против часовой стрелки
N4 G90 G1 X0 Y40 E4.5 F50 M84	Отключение двигателей «M84»

Кадр управляющей программы

Каждый блок(кадр) управляющей программы должен содержать:

- слово (команда) «Номер кадра», можно опустить;
- информационные слова (команды) или слово (команду).

Порядок команд в кадре строго не указан, но традиционно предполагается, что он записывается в следующей последовательности:

- слово (или слова) «Подготовительная функция»;
- слово «Функция подачи», может относиться к конкретному кадру или кадрам программы, а также ко всей программе в целом, (таблицы 2 и 3);
- слова «Размерные перемещения», рекомендуется записывать в последовательности символов X, затем Y;
- слова «Координаты центра круга», рекомендуется записывать в последовательности символов I, затем J;
- слово «Размерные перемещения», параллельно оси E (Экструдер);
- слово «Вспомогательная функция».

Слова не должны повторяться в одном и том же программном блоке «Размерные смещения» и «Координаты центра круга».

В пределах одного блока управляющей программы слова «Подготовительная функция», которые входят в одну группу, не должны использоваться.

Слова программы управления

Каждое слово (команда) в блоке управляющей программы должно состоять из:

- символ адреса (латинская заглавная буква);
- математический знак «Плюс» или «Минус» (при настройке размеров, как в абсолютных значениях, так и в приращениях, математический знак «Плюс» в словах (командах) «Размерные смещения» может быть опущен).

Слова в управляющей программе должны быть написаны одним из двух способов:

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		45

– без использования десятичного разделителя (подразумевается положение десятичного разделителя);

– использование десятичного знака (явная позиция десятичной точки).

При написании слов с использованием десятичного знака слова, в которых нет десятичного знака, обрабатываются программой как целые числа.

При написании слов с использованием десятичного знака незначительные нули перед и (или) после знака могут быть опущены.

Размер, представленный одними нулями, должен быть выражен хотя бы одним нулем.

#### Размерные слова (команды)

Все размерные движения указываются в абсолютных значениях или приращениях. Метод управления выбирается одним из следующих слов

«Подготовительная функция»:

– G90 - «Абсолютный размер»;

– G91 - «Размер в приращениях».

Все перемещения при выполнении работы выражаются в величинах, соответствующих размерностям 3D-принтера, то есть в миллиметрах после получения задания/чертежа детали или шаблона, выраженного в сантиметрах для лабораторной работы, необходимо перевести размерности из сантиметров в миллиметры.

Если программа реализована с размерами, указанными в абсолютных значениях, положительных или отрицательных, в зависимости от происхождения системы координат, то математический знак («Плюс» или «Минус») является неотъемлемой частью слова

«Размерное движение» и предшествует первой цифре каждого размера.

Если программа реализована с размером, указанным в приращениях, математический знак («Плюс» или «Минус») должен предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление движения.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		46

При указании размеров как в абсолютных значениях, так и в приращениях, математический знак «Плюс» в словах «Размерные смещения» может быть опущен.

Безразмерные слова:

- слово «номер кадра» должно состоять из цифр:
- слово (или слова) «подготовительная функция» выражается кодовым номером;
- функция подачи (скорость) кодируется числом, количество бит которого указано в формате управляющей программы. Скорость подачи программируется в мм / мин;
- слово (или слова) «вспомогательная функция» выражается номером кода.

Алгоритмы интерполяции

Интерполяция выполняется на определенной части заданной траектории. Интерполированная часть траектории называется секцией интерполяции и может быть записана в одном или нескольких кадрах управляющей программы.

Функциональный характер интерполированного участка пути (прямая, окружность) определяется соответствующей подготовительной функцией.

Начальная точка каждого раздела интерполяции совпадает с конечной точкой предыдущего раздела, поэтому она не повторяется в новом кадре.

Чтобы установить параметры интерполяции, адреса I, J используются для определения геометрических характеристик кривой (центр дуги окружности).

В случае, когда наряду с параметрами интерполяции необходимо написать математический знак («Плюс» или «Минус»), он должен следовать за символом адреса и перед цифровыми символами. Если знак отсутствует, подразумевается знак плюс.

### Линейная интерполяция

Секция прямолинейной интерполяции установлена в одном кадре, который должен содержать следующую информацию:

- подготовительная функция «G1 - Линейная интерполяция», если она не была запрограммирована ранее;
- координаты конечной точки, которые указываются в абсолютных значениях или в приращениях с соответствующими адресами движений X и Y;
- величина экструзии E;
- функция подачи F.

### Круговая интерполяция

Дуга окружности, лежащая в координатной плоскости, должна быть запрограммирована в одном кадре управляющей программы.

При программировании дуги окружности в одном блоке она содержит следующую информацию:

- подготовительная функция - «G2 - круговая интерполяция по часовой стрелке» (или «G3 - круговая интерполяция против часовой стрелки»), если она не была запрограммирована ранее;
- координаты конечной точки, которые должны быть указаны в приращениях с соответствующими адресами движений, например, X и Y;
- параметры интерполяции с адресами I и J, которые определяют координаты центра дуги окружности (координаты центра круга относительно начала дуги) в выбранной плоскости;
- величина экструзии E;
- функция подачи F.

Слова интерполяции (I, J) необходимо программировать только с приращением от начальной точки к центру круга.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		48

## Формат управляющей программы

Формат управляющей программы должен быть записан в соответствии со следующими правилами:

- символ «Пропустить рамку»;
- за адресом каждого слова «Смещение размеров» следуют числа, соответствующие размерам 3D-принтера, то есть в миллиметрах, левая сторона десятичной точки записывается четырьмя числами, а правая сторона - тремя.

Если абсолютные размеры всегда положительны, то между адресом и числом, следующим за ним, не ставится никаких знаков.

В этом примере показана запись управляющей программы для 3D-принтера, которая принимает явную десятичную точку:

- N4 - четырехзначный номер кадра;
- G2 - двузначная подготовительная функция (таблица 4);
- X4300.043 - перемещение по оси X, четыре цифры слева от десятичной точки и три цифры справа;
- Y4300.034 - то же самое для оси Y;
- F1200 - скорость подачи, четыре цифры слева от десятичной точки;
- M0 - вспомогательная функция, три цифры слева от десятичной точки (таблица 5).

## Подготовительные и вспомогательные функции

Таблица 4 – Значения подготовительных функций

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G0	Ускоренное перемещение	Код используется для ускоренного перемещения. Ускоренное перемещение, или позиционирование, необходимо для быстрого перемещения инструмента к позиции обработки или безопасной позиции.



Продолжение таблицы 4

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G1	Линейная интерполяция	Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган станка по двум или более осям координат одновременно.
G2	Круговая интерполяция. Движение по часовой стрелке	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено по часовой стрелке, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G3	Круговая интерполяция. Движение против часовой стрелки	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G4	Выдержка	Команда на выполнение выдержки (паузы) с заданным временем. Этот немодальный код программируется Вместе с S- или P-адресом, который указывает длительность времени выдержки.
G21		Ввод метрических данных
G29		Регулировка нагревательной платформы по 3 или более точкам
G90	Абсолютный размер	Отсчет перемещения производится относительно выбранной нулевой тчк

## Окончание таблицы 4

Подготовительная функция	Наименование	Значение
G91	Размер в приращениях	Отсчет перемещения производится относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	Установка нуля отсчета	Изменение состояния абсолютных накопителей положения. При этом движение исполнительных органов не происходит.

Таблица 5 – Значения вспомогательных функций

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M0	Программируемый останов	Останов без потери информации по окончании отработки соответствующего кадра.
M17		Включение/Выключение всех шаговых двигателей
M80	Включить питание	Включить питание станка
M81	Выключить питание	Выключить питание станка
M84	Отключение двигателей по истечению времени	Отключить шаговые двигатели по истечению тайм-аута: S<секунды>
M104	Установить температуру экструдера	Установить температуру экструдера: S<температура>, S0 - отключение нагрева
M105	Просмотр температуры	Просмотр текущей температуры с датчиков
M106	Включение вентилятора	Включение вентилятора для охлаждения детали
M107	Выключение вентилятора	Выключение вентилятора для охлаждения детали
M109	Ожидание нагрева экструдера	Ожидание нагрева экструдера до заданной температуры: S<температура>
M112	Экстренная остановка	Экстренная остановка станка

## Окончание таблицы 5

Вспомогательная функция	Наименование	Значение
M114	Просмотр текущей позиции	Просмотр текущей позиции X, Y, Z, E
M119		Просмотр состояния концевиков
M140	Установить температуру стола	Установить температуру стола: S<температура>, S0 - отключение нагрева
M190	Ожидание нагрева стола	Ожидание нагрева стола до заданной температуры: S<температура>
M218	Установить смещение экструдера	Установить смещение экструдера (в мм): Г<номер экструдера> X<смещение по оси X> Y<смещение по оси Y>
M220	Установить скорость перемещения по осям в процентах	Установить скорость перемещения по осям в процентах: S<от 0 до 100>
M221	Установить выдавливание в процентах	Установить выдавливание в процентах: S<от 0 до 100>
M400		Завершение всех текущих задач и очищение буфера
M428	Выбор нуля отсчета	Установка начальной позиции основываясь на текущей позиции
M600	Пауза для смены материала	Пауза для смены материала X<поз> Y<поз> Z<поз> E<втягивание> L<длина удаления после втягивания>
M999	Перезапуск после остановки по ошибке	Перезапуск УП после остановки по ошибке с последнего выполненного кадра

## 3.3 Алгоритм получения модели

В процессе реализации модели задействовано много разных вещей, которые должны беспрепятственно взаимодействовать и работать вместе:

– первый шаг – создать 3D-модель нашей идеи, цифровой дубль объекта, который мы хотим напечатать (этап цифрового моделирования);

– второй шаг – создать файл правильного формата (обычно «STL»), содержащий всю геометрическую информацию, необходимую для отображения нашей цифровой модели (этап экспорта);

Вы также можете загрузить цифровую модель из Интернета (например, из Thingiverse). Если наша модель не была разработана очень тщательно, в ней могут быть дефекты. Мы должны попытаться исправить их с помощью программы (этап восстановления полигональной сетки).

– третий шаг - преобразование цифровой модели (технически это трехмерное изображение твердой поверхности (сетки), ячейки которой представляют собой треугольники) в список инструкций (G-код), который понимает 3D-принтер (нарезка или нарезка) или написать инструкцию вручную;

– четвертый шаг - дать принтеру список инструкций, например, через USB-соединение с ПК (шаг соединения);

– пятый шаг - запустить 3D-принтер, начать печать и дождаться результата (печать);

– шестым этапом является удаление вновь созданного объекта с рабочей платформы, удаление вспомогательных частей (то есть опорных опор и / или подложки, если таковые имеются), очистка его поверхностей (финальная стадия обработки).

Есть несколько моментов, которые также необходимо учитывать для достижения результата: калибровка 3D-принтера, тип и качество пластиковой нити, тип поверхности печатной платформы [22].

## 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ

На самом деле существующих методов автоматизации 3D-печати не так много:

1. Принтер переворачивается на 90° на бок и деталь после печати деталь отваливается от платформы в момент остывания.
2. Конвейерная лента, придуманная компанией MakerBot в 2014 году и все еще не имеющая аналогов.

Именно о конвейерной ленте и пойдет речь далее.

Конвейер предусмотрен для поддержки и перемещения нескольких последовательных деталей из принтера. Конвейер может быть нагрет / охлажден, покрыт или иным образом обработан, чтобы способствовать адгезии во время сборки, а также удалению объектов после сборки. Каждый изготовленный объект может быть автоматически удален с конвейера, когда конвейер движется, чтобы восстановить обрабатываемую поверхность для изготовления дополнительных объектов.

Это устройство содержит:

- платформу, включающую в себя жесткую и плоскую поверхность,
- включает в себя множество областей;
- экструдер, содержащий в себе свободное место для полимерной нити и экструзионный наконечник, который выдавливает эту нить с контролируемой скоростью;
- контроллер позиционирования x-y-z, выполненный с возможностью трехмерного позиционирования наконечника экструдера в пределах рабочей плоскости;
- контроллер, электрически связанный со строительной платформой, экструдером и контроллером позиционирования x-y-z, контроллер, выполненный с возможностью управления строительной платформой, экструдером;
- множество нагревательных элементов, расположенных внутри

									Лист
									54
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.378 ПЗ				

платформы, каждый из множества нагревательных элементов, связанных с соответствующей одной из множества областей поверхности строительной платформы, каждый из множества нагревательных элементов, соединенных в связующей взаимосвязи с контроллером, при этом контроллер выполнен с возможностью независимого управления каждым из множества нагревательных элементов, чтобы обеспечить различный нагрев для каждой из множества областей поверхности платформы.

Блок-схема принтера с конвейерной лентой показана на рисунке 27.

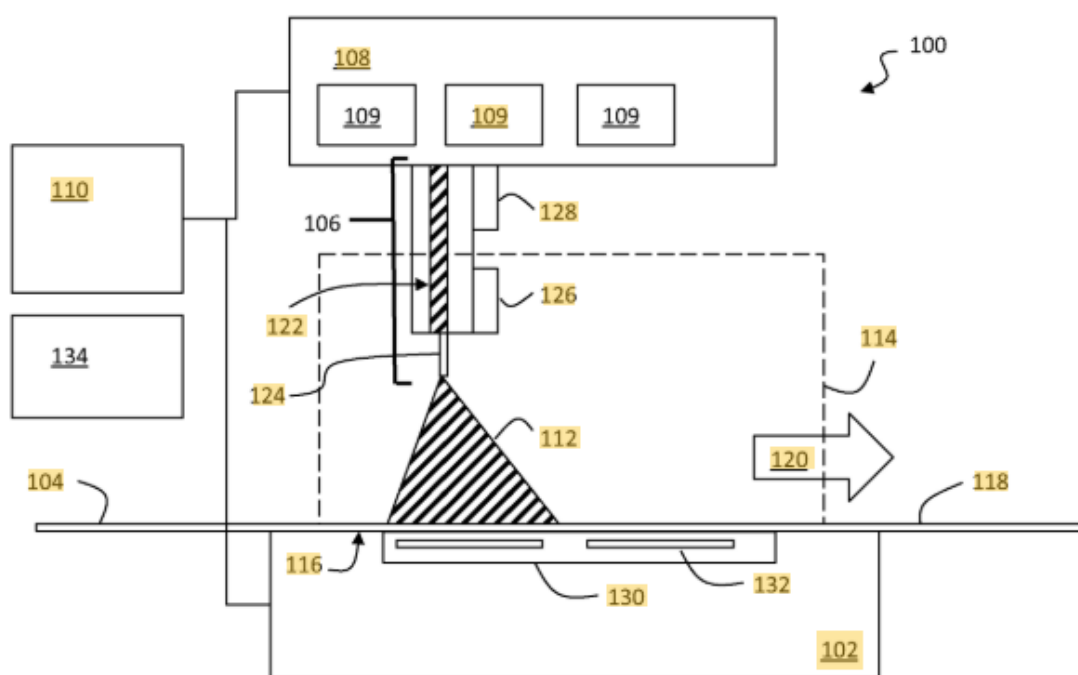


Рисунок 27 – Блок-схема принтера с конвейерной лентой

Это блок-схема трехмерного принтера. В целом, принтер 100 может включать в себя платформу 102, конвейер 104, экструдер 106, узел 108 позиционирования x-y-z и контроллер 110, которые взаимодействуют для изготовления объекта 112 в рабочей плоскости 114 принтера 100.

Платформа 102 может включать в себя плоскую и жесткую поверхность 116. Эта поверхность может поддерживать конвейер, чтобы обеспечить

фиксированную, стабильную по размерам и позициям платформу, на которой можно печатать объект 112.

Платформа 102 может включать в себя тепловой элемент 130, который контролирует температуру платформы через одно или несколько активных устройств 132, таких как резистивные элементы, которые преобразуют электрический ток в тепло, устройства с эффектом Пельтье, которые могут создавать эффект нагрева или охлаждения, или любые другие термоэлектрические нагревательные и / или охлаждающие устройства. Таким образом, тепловой элемент 130 может быть нагревательным элементом, который обеспечивает активный нагрев платформы, охлаждающим элементом, который обеспечивает активное охлаждение платформы, или их комбинацией. Нагревательный элемент может быть соединен с контроллером 110 для того, чтобы контроллер управлял передачей тепла или отводом тепла от поверхности платформы 116. Также, тепловой элемент может включать в себя активный охлаждающий элемент расположен внутри или рядом со строительной платформой для контролируемого охлаждения строительной платформы.

Понятно, что для управления температурой платформы может использоваться множество других технологий. Например, платформа может использовать устройство для охлаждения или нагревания газа, такое как вакуумная камера или тому подобное, во внутренней части. Его можно быстро нагреть, чтобы нагреть основную платформу, или освободить, чтобы охладить ее. В качестве другого примера, поток нагретого или охлажденного газа можно подавать непосредственно на платформу до, во время и / или после процесса сборки. Любое устройство или комбинация устройств, подходящих для управления температурой платформы, может быть использовано в качестве теплового элемента, описанного в данном документе.

Конвейер 104 может быть сформирован из листа материала 118, который движется по пути 120 через область печати 114. В ней все перемещения могут проходить проксимально к поверхности 116 платформы. Очевидно, что, хотя путь

					<b>270304.2020.378 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		56

120 изображен в виде однонаправленной стрелки, он может быть разнонаправленным, так что конвейер может перемещаться в любом из двух противоположных направлений через область печати. Также будет понятно, что перемещение печатной головы может изгибаться любым из множества способов, таких как петля под и вокруг платформы, над и / или под роликами, или вокруг подачи и захватывать катушки для листа 118 материала. Таким образом, перемещение может быть в целом (но не обязательно) равномерным по области печати, конвейер может перемещаться в любом направлении, подходящем для перемещения готовых изделий из области печати в так называемый сброс. Конвейер может включать в себя двигатель или другой подобный привод или механизм (не показан), соединенный с контроллером для управления перемещением листа материала. Различные приводные механизмы показаны и описаны более подробно ниже.

В общем, лента может быть сформирована из гибкого материала, такого как сетчатый материал, полиамид, полиэтилентерефталат, полиамидная пленка или любая другая достаточно прочный полимер или другой материал. Она может иметь толщину примерно от трех до семи тысячных дюйма, которая позволяет ленте без каких-либо проблем перемещаться вдоль конвейера. Например, при достаточно прочном материале лента может иметь толщину от одной до трех тысячных дюйма. Вместо этого лист 118 может быть сформирован из секций жесткого материала, соединенных гибкими связями.

Рабочая поверхность ленты обрабатывается различными способами, чтобы способствовать адгезии печатного материала к поверхности и / или удалению завершенных объектов с рабочей плоскости. Например, рабочая поверхность может быть отшлифована или иным образом текстурирована (например, с помощью канавок, выступов и тому подобного) для улучшения адгезии между рабочей поверхностью и строительным материалом.

Разнообразные дополнительные датчики и другие компоненты могут быть эффективно включены в принтер, описанный выше. Эти другие компоненты в

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.378 ПЗ	Лист 57



общем изображены как другие аппаратные средства на рисунке 26, для которого специалисту в данной области техники будет легко понять и оценить расположение и механические / электрические взаимосвязи с другими элементами принтера 100. Другое аппаратное обеспечение может включать в себя датчик температуры, расположенный для измерения температуры поверхности строительной платформы. Это может, например, включать термистор или тому подобное, встроенный внутри или прикрепленный ниже поверхности строительной платформы. Это может также или вместо этого включать инфракрасный детектор или тому подобное, направленный на поверхность строительной платформы или лист материала конвейера.

В другом аспекте другое аппаратное обеспечение 134 может включать в себя датчик для обнаружения присутствия объекта в заранее определенном месте на конвейере. Это может включать в себя оптический детектор, расположенный в конфигурации с разрушением луча, для определения присутствия объекта в таком месте, как конец конвейера. Это может также включать или вместо этого включать в себя устройство формирования изображения и схему обработки изображения для захвата изображения рабочего объема и анализа изображения для оценки положения объекта. Этот датчик может использоваться, например, для обеспечения того, чтобы объект был удален с конвейера до начала новой сборки в этом месте на рабочей поверхности. Таким образом, датчик может использоваться для определения того, присутствует ли объект, которого не должно быть, или для обнаружения отсутствия объекта. Обратная связь от этого датчика может использоваться контроллером для выдачи прерываний обработки или иного управления работой принтера.

В другом аспекте другое оборудование 134 может включать в себя датчик, который обнаруживает положение конвейера вдоль пути. Эта информация может быть получена кодером в двигателе, который приводит в движение конвейер, или с использованием любого другого подходящего метода, такого как датчик и соответствующие проверочные точки (например, видимые рисунки, отверстия

или области с непрозрачным, зеркальным, прозрачным или обнаруживаемым иным способом) маркировка) на листе. В другом аспекте датчик может включать в себя нагреватель (вместо или в дополнение к тепловому элементу 130) для нагрева рабочего объема, такой как лучистый нагреватель или нагретый горячий воздух, чтобы поддерживать объект на фиксированной, повышенной температура на протяжении всей сборки.

Изометрический вид конвейерной ленты указан на рисунке 28.

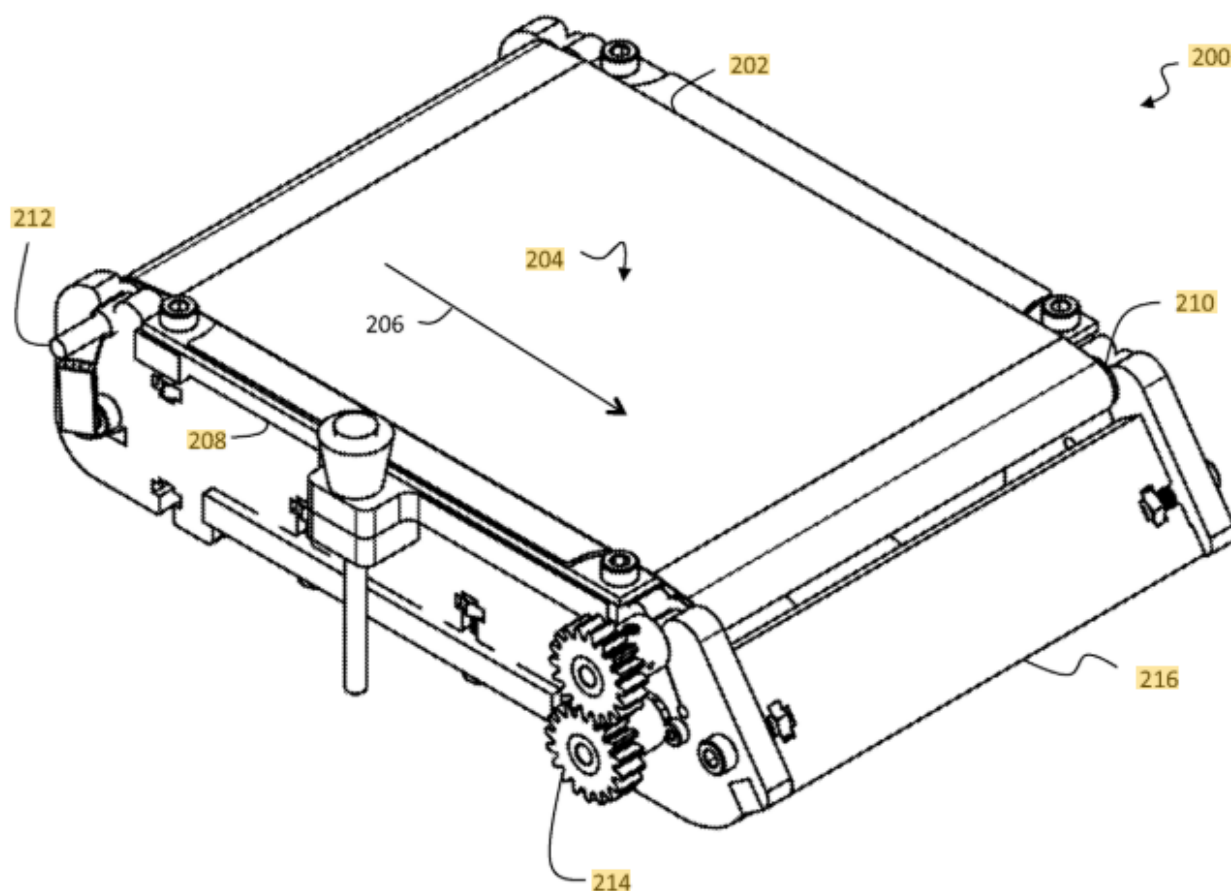


Рисунок 28 – Общий вид(изометрия) конвейерной ленты

Как описано выше, конвейер 200 включает в себя лист 202 материала, который обеспечивает рабочую поверхность 204 для трехмерного изготовления. Как изображено, конвейер может образовывать непрерывный путь 206 вокруг платформы 208 для сборки, размещая лист 202 в виде ленты или тому подобного.

Более конкретно, путь 206 может перемещаться параллельно поверхности платформы 208 для сборки вдоль верхней части платформы 208 для сборки (слева направо на фиг. 2). Лист 202 может затем изгибаться вниз и вокруг ролика 210 и меняет направление под платформой 208 для сборки, возвращаясь снова на противоположный ролик 212, чтобы образовать петлю вокруг платформы 208 для сборки.

Ролик может быть соединен с помощью зубчатых колес или тому подобного с двигателем (не показан) для перемещения листа материала. Двигатель может управляться контроллером (таким как контроллер 110, описанный выше) для управления перемещением листа материала в процессе сборки.

Конвейер может включать в себя скребок 216 для физического отделения готового объекта от конвейера на основе относительного перемещения листа 202 материала конвейера к скребку. В общем случае адгезия объекта к рабочей поверхности сохраняется. объект в системе координат принтера во время сборки для обеспечения точности процесса сборки. Если во время сборки достигается хорошая адгезия, смещение готового объекта с рабочей поверхности может потребовать значительных усилий. Таким образом, чтобы обеспечить наличие непрерывной рабочей поверхности, конвейер может обеспечить физическое отделение объекта от рабочей поверхности, пропуская лист материала скребком, чтобы выбить объект. Хотя скребок изображен под рабочей поверхностью листа, будет понятно, что различные положения и ориентации скребка могут достигать аналогичных результатов. Так, например, скребок может проходить вертикально над или под листом, горизонтально от листа или в любой другой подходящей ориентации. Также следует понимать, что, хотя скребок изображен в ориентации, перпендикулярной траектории, скребок может быть расположен под углом, чтобы также отталкивать готовый объект от листа в любом желаемом направлении, например, в сторону рабочей поверхности, где может быть предусмотрен желоб или емкость для захвата и хранения готового объекта. В некоторых вариантах

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		60

осуществления конвейер может перемещаться на сторону принтера, так что удаление готового объекта с листа приводит к тому, что конкурирующий объект покидает принтер. Еще в более общем смысле термин «скребок» следует понимать, как описание неограничивающего примера физического приспособления для удаления объекта с листа и того, что многие другие формы, размеры, ориентации и тому подобное могут также или вместо этого использоваться в качестве скребка, описанного в данном документе, не выходя за рамки объема это раскрытие.

На рисунке 29 показано поперечное сечение конвейера и конвейера с многослойной поверхностью.

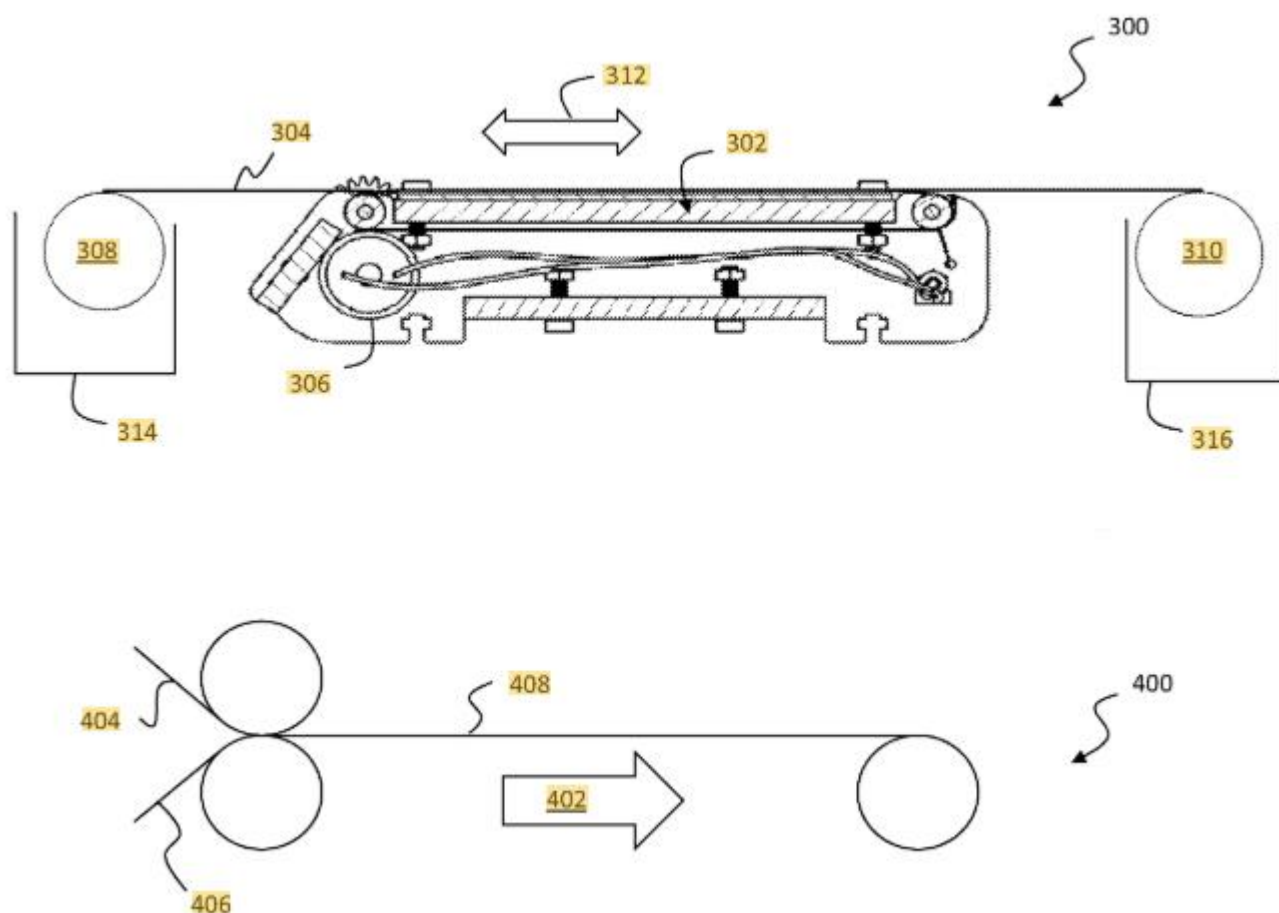


Рисунок 29 – Поперечное сечение конвейера(сверху) и конвейера с многослойной поверхностью(снизу)

Как описано выше, конвейер 300 может включать в себя платформу 302 для сборки и лист 304 материала, проходящий над платформой для сборки, чтобы обеспечить непрерывную рабочую поверхность для автоматизированного процесса сборки. В общем, двигатель 306 или другой электромеханический приводной механизм может управлять перемещением листа по строительной платформе. Хотя вышеописанное устройство обычно использует ременное устройство, которое перемещается вокруг строительной платформы, другие устройства, такие как прокрутка лист может также или вместо этого может быть использован.

Например, лист может проходить мимо платформы для сборки и может прокручиваться по платформе для сборки между первой катушкой 308 и второй катушкой 310. Лист может прокручиваться в двух направлениях по платформе для сборки, как в целом обозначено стрелка 312. Каждый конец движущейся поверхности может также или вместо этого включать контейнер, ящик или другую емкость для подачи или приема листа материала в одностороннем механизме подачи, в котором лист жертвенно расходуется или иным образом используется во время процесса сборки. , Таким образом, лист может прокручиваться между первым контейнером 314 и вторым контейнером 316, или, в более общем случае, конвейер 300 может включать в себя множество роликов, зубчатых колес, двигателей, катушек и тому подобного для подачи листа в двух направлениях и / или одностороннее устройство для обеспечения непрерывной рабочей поверхности для автоматизированного процесса сборки.

Разнообразные способы наплавки могут использоваться для листа 304 материала, который обеспечивает рабочую поверхность для сборки.

На нижнем рисунке поперечное сечение конвейера с многослойной рабочей поверхностью. В целом, конвейер 400 может перемещаться слева направо, как показано стрелкой 402. Когда конвейер перемещается, второй лист 404 может быть наложен на лист 406 материала конвейера, чтобы сформировать многослойную рабочую поверхность 408. Лист конвейера может подаваться из

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		

источника, такого как катушка, или перемещаться в непрерывной ленте, как описано выше, или идти любым другим путем, как обычно описано выше. Второй лист может представлять собой съемную поверхность, такую как клейкая лента или другая тонкая пленка, которая может вмещать строительный материал (такой как готовый объект) на верхней поверхности, причем нижняя поверхность может легко отделяться от листа 406 конвейера 400. для облегчения удаления законченных объектов.

На рисунке 30 указано поперечное сечение конвейера с напыленной рабочей поверхностью и со сменной или съемной поверхностью.

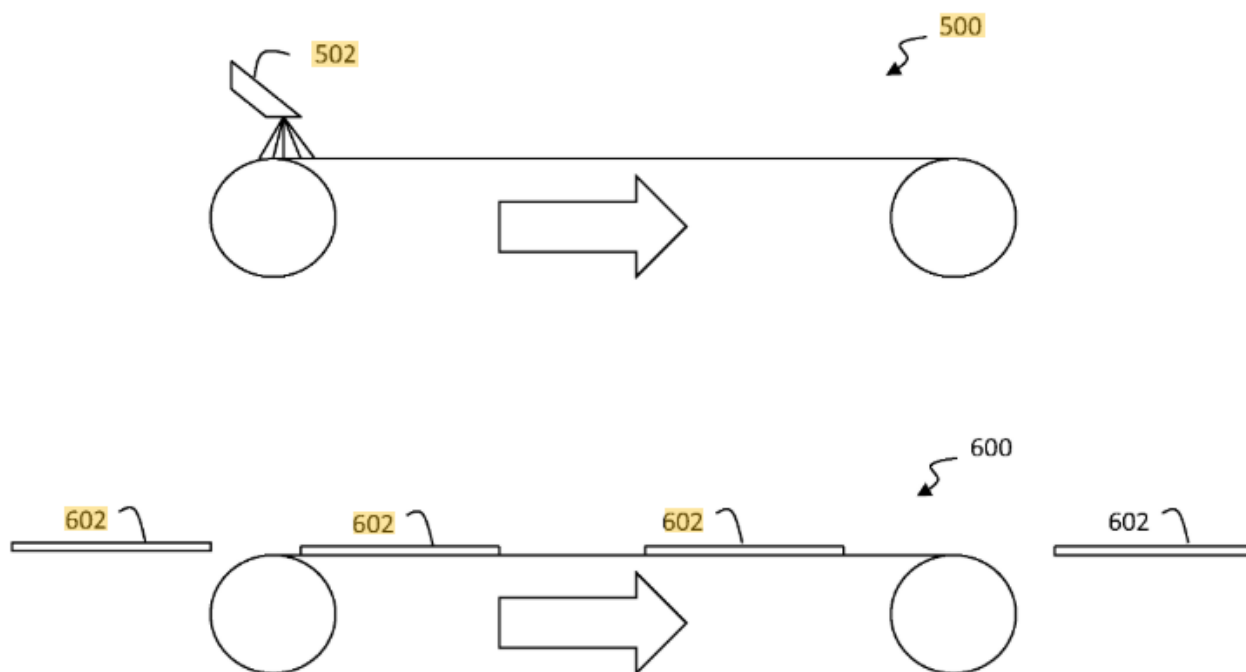


Рисунок 30 – Поперечное сечение конвейерной ленты с напыленной поверхностью(сверху) и со сменной или съемной поверхностью(снизу)

В верхней части рисунка указано поперечное сечение конвейера с напыленной рабочей поверхностью. Конвейер 500, который может включать в себя любой из описанных выше конвейеров, может включать в себя поверхность 502 для повторной обработки поверхности, такую как распылительная головка, смачиваемый рулон или любая другая сборка или сборка сборок, чтобы наносить

съемную пленку или поверхность на конвейер перед поверхностью. конвейера перемещается в рабочий объем для сборки. Хотя повторная поверхность изображена как распылительная насадка, следует понимать, что повторная поверхность может включать в себя любое устройство (устройства), подходящее для нанесения съемной поверхности на конвейер, включая, без ограничения, ламинатор, описанный выше. Кроме того, следует иметь в виду, что съемный слой можно использовать с односторонними или двунаправленными рабочими поверхностями, а также можно использовать другие устройства для обработки поверхности, такие как очиститель поверхности, для удаления любой отделяемой поверхности (поверхностей) перед повторной шлифовкой, отверждающие устройства, которые обеспечивают свет, тепло, давление или тому подобное для отверждения отделяемой поверхности в желаемом состоянии и так далее.

На нижней части рисунка указано поперечное сечение конвейера со съемной и сменной поверхностью. Конвейер 600 может транспортировать одну или несколько съемных и сменных сборочных поверхностей 602, каждая из которых съемно и с возможностью замены прикрепляется к конвейеру с использованием, например, защелок, зажимов, крепежных элементов с крючками и петлями (например, VELCRO), клеев или любых других многообразное крепежное устройство (а) или материал (ы). Каждая из съемных и сменных поверхностей сборки может быть временно прикреплена к конвейеру вручную или с помощью некоторого автоматизированного роботизированного или аналогичного процесса и может быть удалена с конвейера после завершения сборки. Рабочая поверхность затем может быть очищена и переработана для использования в последующем процессе сборки.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		64

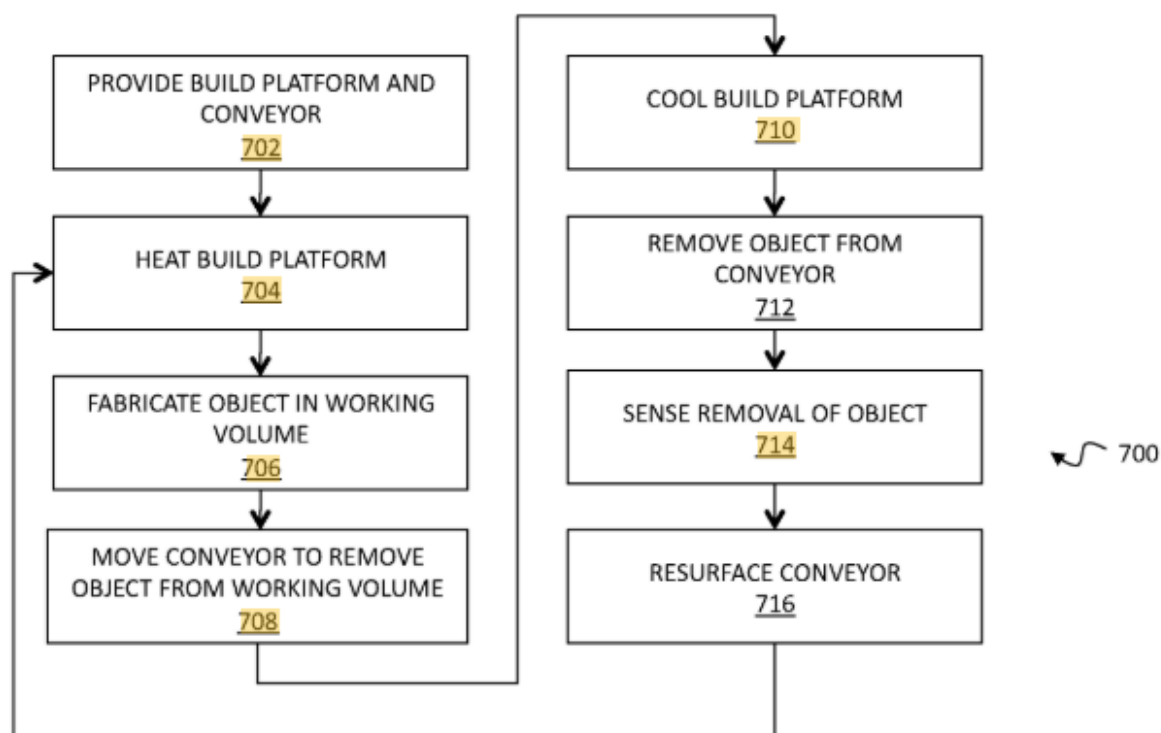


Рисунок 31 – Блок-схема автоматизированного процесса печати

Как показано на этапе 702, процесс 700 может начинаться с предоставления строительной платформы, имеющей по существу плоскую поверхность, и конвейера, образованного из листа материала, который движется по пути, проходящему через рабочий объем, ближайший к поверхности строительной платформы. Строительная платформа и конвейер могут, например, быть любой из строительных платформ и конвейеров, описанных выше.

Как показано на этапе 704, процесс может включать в себя нагрев строительной платформы до изготовления объекта. Это может включать в себя нагрев строительной платформы, которую можно нагреть до минимума около ста градусов Цельсия, около ста десяти градусов Цельсия или любой другой температуры, которая увеличивает силу сцепления между листом материала (конвейера) и объектом. , Строительная платформа может активно нагреваться путем подачи тока на один или несколько резистивных элементов внутри строительной платформы или с использованием любой другой подходящей технологии нагрева, такой как термоэлектрические нагревательные устройства,



инфракрасное излучение и так далее. В другом аспекте строительная платформа может быть нагрета косвенно путем нагрева рабочего объема нагретым воздухом или тому подобным. Термистор или другое чувствительное к температуре устройство может быть предусмотрено на строительной платформе или иным образом расположено для измерения температуры строительной платформы, чтобы можно было получить и / или поддерживать желаемую целевую температуру.

Как показано на этапе 706, процесс может включать изготовление объекта на конвейере в рабочем объеме. Изготовление объекта может включать в себя создание объекта из нескольких слоев строительного материала, каждый из которых имеет двумерную форму, соответствующую поперечному сечению объекта. В более общем смысле, любая технология изготовления трехмерных объектов из осажденного материала (или нескольких материалов) может быть соответствующим образом адаптирована для непрерывного изготовления с использованием систем и способов, описанных здесь.

Как показано на этапе 708, процесс может включать перемещение конвейера для удаления объекта из рабочего объема. Это может включать в себя прокрутку, скольжение или иное перемещение рабочей поверхности конвейера из рабочего объема с использованием, например, любого из методов, описанных выше. Перемещение конвейера может включать в себя любую из методик, описанных выше. Например, перемещение конвейера может включать в себя перемещение конвейера по непрерывной траектории вокруг строительной платформы в конфигурации ремня или тому подобного. Перемещение конвейера может включать в себя прокрутку конвейера через рабочий объем, такой как от первой катушки до второй катушки. Также следует понимать, что перемещение конвейера может включать в себя перемещение конвейера в двух направлениях через рабочий объем в процессе, когда, например, объект перемещается с одной стороны, в то время как рабочая поверхность перемещается с другой, после чего

дополнительный набор операций выполняется с другим законченным объектом, перемещенным на другую сторону.

Как показано на этапе 710, процесс может включать в себя охлаждение строительной платформы после изготовления объекта. Охлаждение может включать в себя охлаждение до максимальной температуры около сорока градусов Цельсия или до любой другой температуры, которая уменьшает силу соединения между листом материала (конвейера) и объектом. Охлаждение может включать в себя пассивное охлаждение строительной платформы с течением времени, например, путем включения задержки или аналогичной паузы в изготовлении перед удалением объекта с конвейера. Охлаждение может также включать или вместо этого включать активное охлаждение формы сборки с использованием, например, хладагентов, расширяющегося газа, принудительного холодного воздуха, термоэлектрических охлаждающих устройств или любого другого подходящего метода охлаждения.

Как показано на этапе 712, процесс может включать в себя удаление законченного объекта с конвейера. Во многих процессах сборки конструкционный материал может быть осажден в расплавленном, неотвержденном или другом жидком состоянии, которое позднее затвердевает в готовый объект с жесткой формой, имеющий нижнюю поверхность, сопряженную с рабочей поверхностью конвейера. Когда по существу плоский лист материала перемещается вокруг изогнутой поверхности (например, роликов, описанных выше), жесткое плоское дно готового объекта механически отрывается от листа и разрушает любые силы сцепления, связывающие объект с листом. Таким образом, движущийся конвейер может помочь отделить законченный объект от рабочей поверхности конвейера. Например, перемещение конвейера может включать перемещение листового материала вокруг изогнутой поверхности, которая физически отделяет объект от конвейера. В более общем смысле перемещение конвейера может включать перемещение листа материала по выпуклой траектории, тем самым придавая выпуклую поверхность листу материала,

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		67

который механически отделяет по существу плоскую сопряженную поверхность объекта. В другом аспекте перемещение конвейера может также или вместо этого включать перемещение конвейера мимо скребка, который перемещает объект с конвейера. Скребок, который может быть любым из описанных выше скребков, может физически отсоединять объект от конвейера и / или может располагаться под углом относительно пути конвейера, в результате чего скребок сдвигает объект с конвейера при движении конвейера. Должно быть понятно, что хотя криволинейный путь и / или скребок являются двумя способами, которые удобно работают с конвейером ленточного типа, как описано выше, многочисленные другие методы могут быть соответствующим образом адаптированы для использования со способами и системами, описанными в данном документе, включая, без ограничения, роботизированный руки для подбора предметов с конвейера, подметальные машины, которые чистят или скребут по верху неподвижного конвейера для очистки объектов с него и так далее. Предполагается, что все такие способы удаления объекта, которые будут очевидны для специалиста в данной области техники, входят в объем этого раскрытия.

Как показано на этапе 714, процесс может включать в себя определение удаления объекта с конвейера. Это может, например, включать передачу листа материала с помощью оптического датчика в конфигурации с разрушением луча или захват изображения рабочей поверхности и анализ изображения для определения наличия или отсутствия объекта. Это может также включать использование механических переключателей / датчиков, которые физически обнаруживают объект и преобразуют присутствие объекта в электрические сигналы, которые могут приниматься и обрабатываться контроллером или другими схемами обработки.

Как показано на этапе 716, процесс может дополнительно включать в себя изменение поверхности конвейера и возврат рабочей поверхности в рабочий объем, где может быть изготовлен новый объект. В некоторых вариантах

осуществления объект изготавливается непосредственно на конвейере. В таких вариантах осуществления рабочая поверхность может быть возвращена в рабочий объем без шлифовки. В других вариантах осуществления жертвенный слой или материал предоставляется сверху от конвейера. Там, где строительная поверхность отсоединяется, конвейер может быть обращен наружу. Как правило, это может включать в себя добавление съемной поверхности к конвейеру для приема изготавливаемого объекта с использованием, например, любого из методов обработки поверхности или шлифовки, описанных выше. В случае использования съемных и сменных жестких сборочных поверхностей повторная шлифовка может включать в себя съемное прикрепление жесткой сборочной поверхности к конвейеру. В таких вариантах осуществления основной процесс может дополнительно включать перемещение жесткой сборочной поверхности в рабочий объем и изготовление объекта на жесткой сборочной поверхности. В других вариантах осуществления, где для рабочей поверхности предусмотрен источник одноразового материала, процесс 700 может включать в себя удаление использованной рабочей поверхности из рабочего объема и перемещение новой рабочей поверхности в рабочий объем, например, когда лист материала непрерывно подается из катушки или другого дозатора.

Процесс 700 затем может вернуться к этапу 704 и повторить его с новым объектом. Таким образом, в одном аспекте основной процесс может включать в себя изготовление множества последовательных объектов последовательно на конвейере.

Понятно, что процесс 700, описанный выше, предоставляется в качестве неограничивающего примера. Возможны многочисленные варианты, и каждый из этапов может быть изменен, опущен или изменен по порядку, и могут быть добавлены новые этапы, все без отклонения от объема этого раскрытия. Например, такие этапы, как обнаружение удаления объекта, могут быть полностью опущены. Когда процесс 700 не использует съемную поверхность, этап шлифовки также может быть пропущен. В то же время основной может

выполняться параллельно, так что изготовление второго объекта начинается до того, как ранее законченный объект был удален с конвейера, например, когда ранее заверченный объект охлаждается в зоне за пределами рабочей зоны. Объем. Аналогичным образом, охлаждение может выполняться до или после удаления объекта из рабочего объема. В другом аспекте нагрев и охлаждение строительной платформы могут быть полностью исключены, или нагрев/охлаждение могут выполняться на съемной поверхности конвейера независимо от строительной платформы. Другие изменения также будут очевидны и могут быть адаптированы для использования с процессом, описанным выше.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		70

## 5 РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ ПРИНТЕРА ДЛЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Собранный во второй главе 3D-принтер относится к персональному классу и его можно вполне использовать в мелкосерийном производстве.

К примеру, нам поступает заказ на изготовление 20 дюймовых заглушек (крышек) с NPT резьбой для фиксации полиэтиленовых труб. Для заказа таких крышек у продавца потребуется больше денежных средств, чем при использовании 3D-печати. Также, помимо документирования самого заказа, придется ожидать еще и его доставку. Я же предлагаю использовать мое устройство для такого производства.

Также стоит упомянуть, что мое устройство оборудовано современной автоматизацией, которое позволяет сокращать время изготовления объектов во много раз.

### 5.1 Обоснование отличия в изготовлении объектов в мелкосерийном производстве между автоматизированной печатью и при отсутствии автоматизации

В первую очередь рассмотрим алгоритм с отсутствием автоматизации (рисунок 32). Для печати любого объекта мы должны создать цифровую модель. Большинство 3D-принтеров работают с форматами OBJ и STL.

OBJ является открытым форматом файла. Используется в 3D печати по той причине, что большинство программ 3D моделирования поддерживает этот формат в экспорте файла.

В свою очередь STL – самый популярный формат в 3D печати. Является стандартным типом файла, с которым взаимодействует САПР и программное обеспечение 3D-принтера. Большинство ПО поддерживает экспорт в STL формат.

Также существуют и другие форматы файлов: VRML, X3G, PLY, FBX. VRML используется, когда 3D модель имеет необычную цветную составляющую.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		71

Этот формат поддерживает использование текстур. X3G применяется только в 3D принтерах марки MakerBot. PLY формат применяется в 3D сканировании. FBX формат разработан компанией Autodesk. Используется для обмена данными между программами под названием Autodesk. К примеру, 3ds Max, Autodesk Maya и другими продуктами данной компании.



Рисунок 32 – Блок-схема алгоритма работы 3D-принтера без применения на нем автоматизации

После создания 3D-модели следует запустить устройство и прогреть нагревательный стол, затем нажать кнопку “Пуск” для запуска печати. Прогревание стола занимает порядка 20-25 минут в зависимости от используемого печатного материала. К примеру, ABS-пластик плавится при температуре 180-200 градусов, PLA-пластик плавится при 170-180 градусах. Печать на принтере персонального класса с высокой точностью печати в зависимости от размеров объекта будет длиться от 40 до 90 минут. Также после печати следует ожидание охлаждения нагревательного стола для экспорта детали из рабочей зоны. Занимает оно порядка 20 минут. И при наличии следующей детали в очереди весь процесс от нагревания стола до экспорта детали придется повторить. В таком процессе печати должен задействоваться оператор, который будет следить температурой нагревательного стола, экспортировать детали из рабочей плоскости и нажимать кнопку для начала печати. Это максимально неудобно и поэтому я предлагаю использовать следующий алгоритм уже автоматизированного устройства (рисунок 33).

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		73



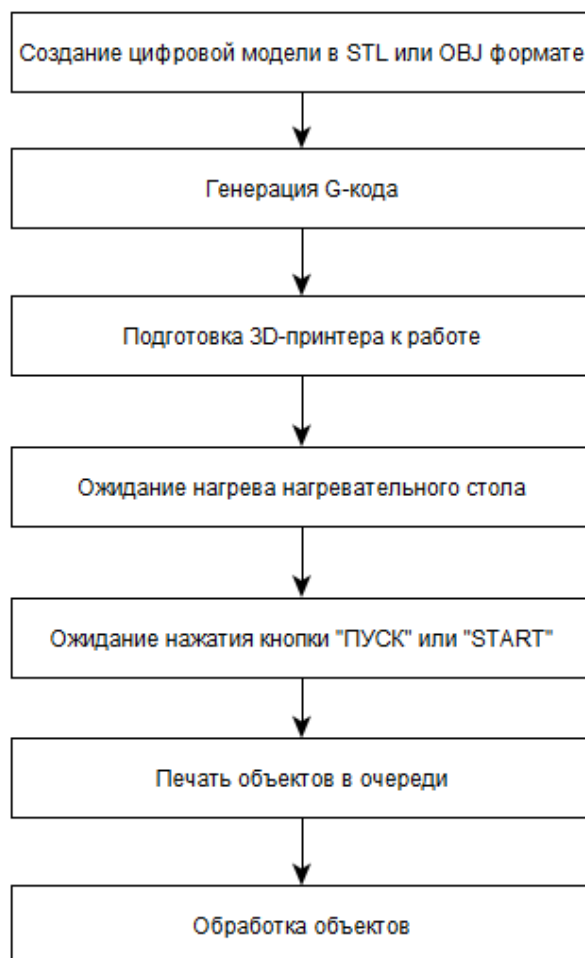


Рисунок 33 – Блок-схема алгоритма работы 3D-принтера с автоматизацией

При использовании данного алгоритма больше не нужен оператор, поскольку нет необходимости следить за процессом печати и температурой стола. После печати готовые детали будут сбрасываться конвейером в определенное место (сброс) и остывать там до конечной обработки. Также нет необходимости руководить самим принтером, к примеру, регулировать какие-либо настройки: параметры сопла, размеры рабочей плоскости, скорость перемещения печатающей головы.

Самое важное то, что больше не нужно постоянно охлаждать и нагревать стол для подготовки его к печати, этот процесс занимает порядка часа.

Вернусь к заказу, описанному в начале главы. Использование 3D-печати хорошо тем, что почти все заказываемые детали создаются опытным моделлером достаточно быстро. Такие заглушки (см. рис. 34) создаются порядка 25 минут.

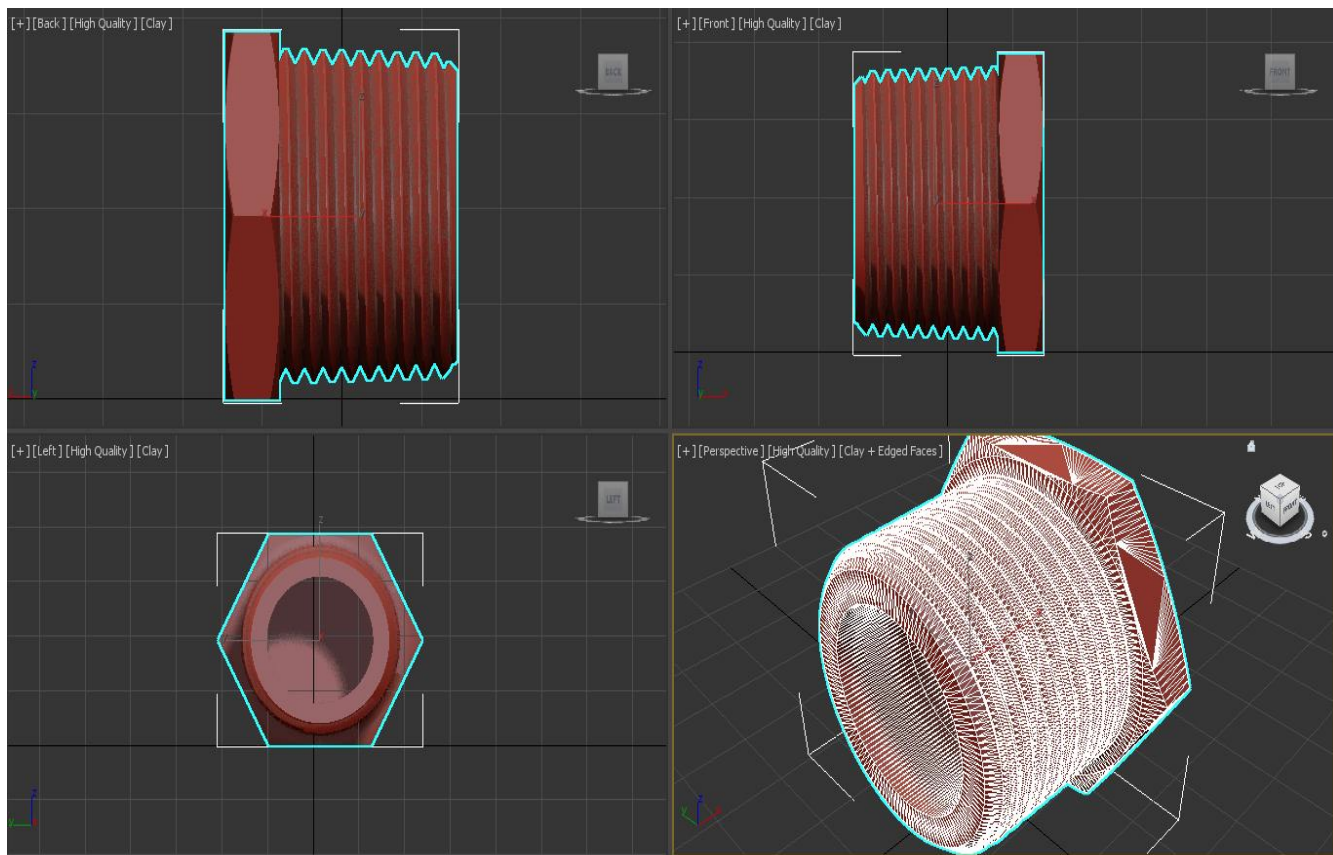


Рисунок 34 – 3D-модель дюймовой заглушки для полиэтиленовой трубы

В мелкосерийном производстве также поступают заказы на некоторые декоративные экспозиции. К примеру, поступил заказ на изготовление декорации в виде референса (рисунок 35).



Рисунок 35 – Референс 2D-моделей

Данный 2D-рисунок нужно изобразить в 3D-виде, сделать рендер для отправления эскизного вида проекта заказчику и подготовить каждую модель к печати.

В первую очередь создадим форму каждой из моделей для будущего применения модификаторов на них. Для этого добавим фотографию и нарисуем по контуру каждую деталь (рисунок 36).

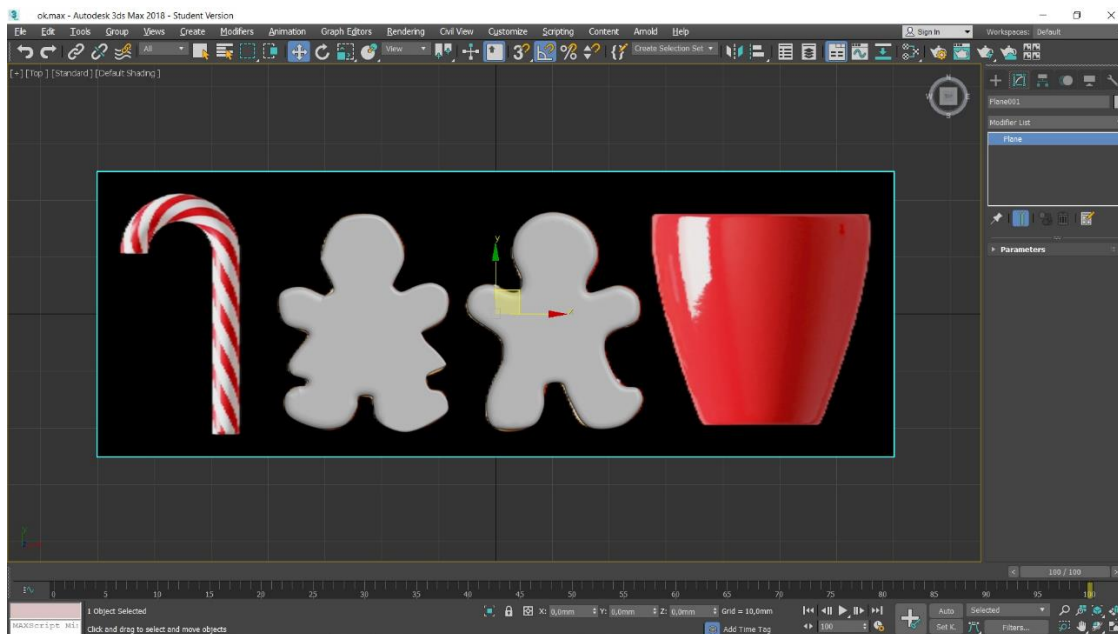


Рисунок 36 – Начало работы с моделью

После создания форм следует этап применения различных модификаторов, с помощью которых можно из 2D-рисунок сделать 3D-модель, а также правильного расположения объектов (рисунок 37).

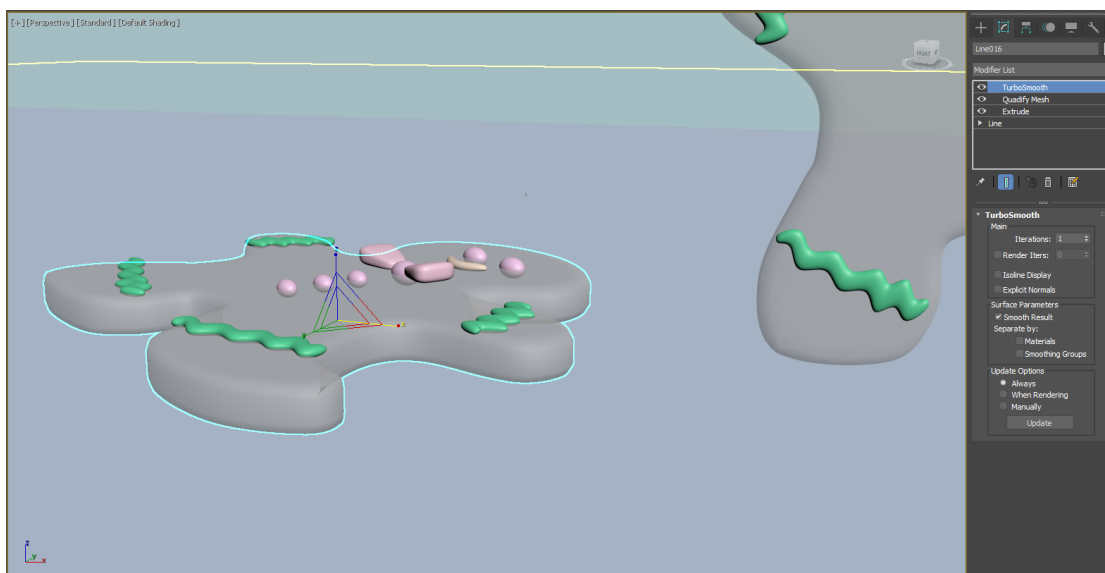


Рисунок 37 – Применение модификаторов на модели

Стоит упомянуть, что дополнительные цвета на моделях используются только для добавления дополнительных текстур на модель (галстук, глаза, пуговицы). На рендере эти цвета отображаться не будут. Итоговая композиция представлена на рисунке 38.

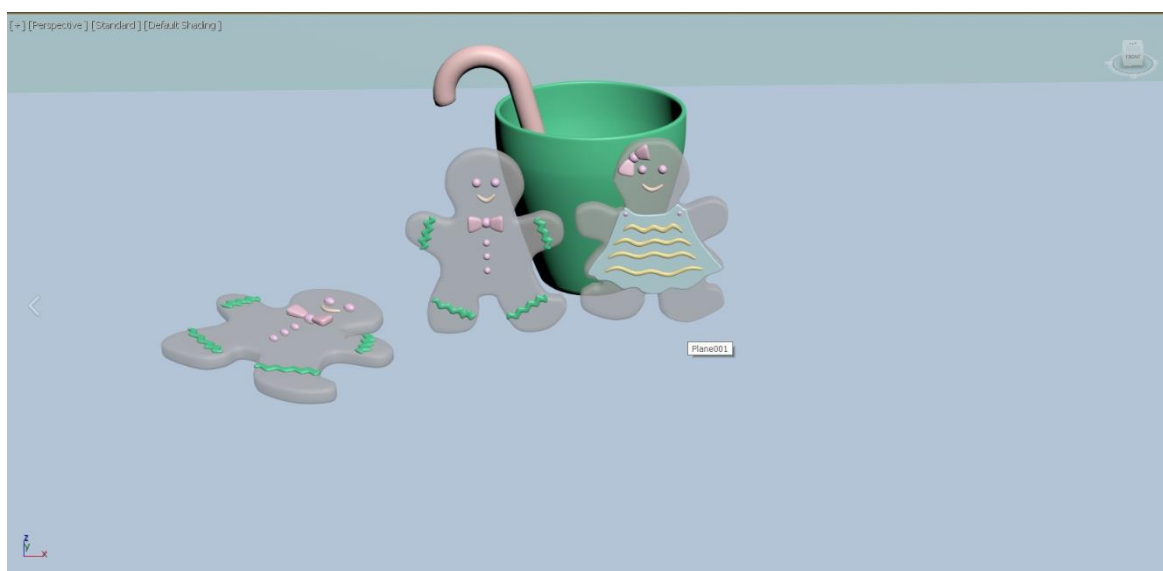


Рисунок 38 – Итоговая композиция

После создания модели следует переходить к рендерингу. Рендер – визуализация или отрисовка сцены. В моем случае идет преобразование

трехмерной сцены в статическую картинку. С развитием 3D-технологий рендеринг начал использоваться в киноиндустрии, рекламных роликах, также в различных симуляторах и видеоиграх.

При подготовке к рендеру мы должны постепенно и последовательно окрасить каждую деталь объекта (рисунок 39)

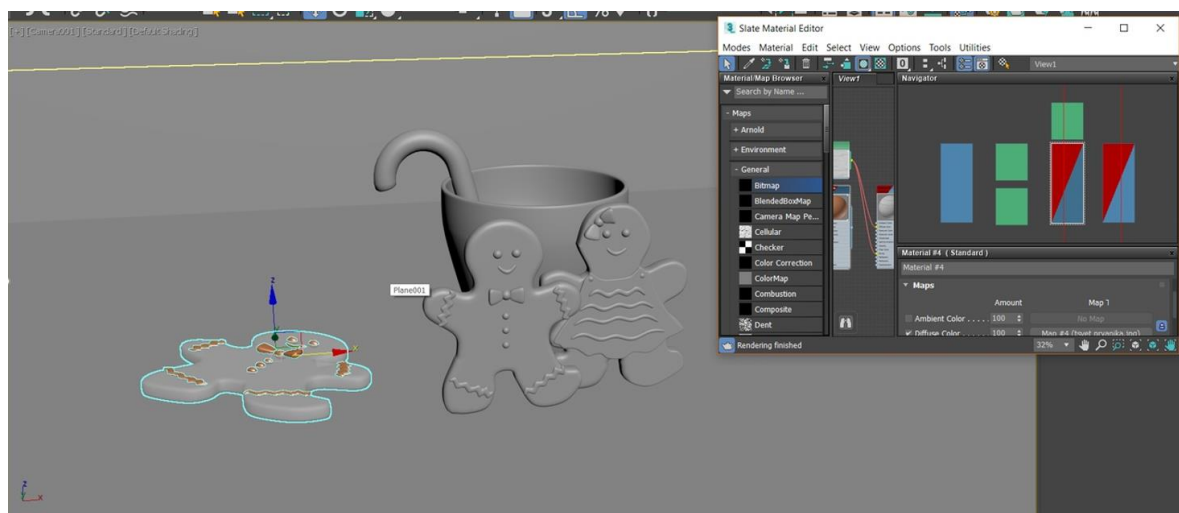


Рисунок 39 – Подготовка моделей к рендеру

После окраски можем приступать к итоговому рендерингу (рисунок 40).



Рисунок 40 – Итоговая работа

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе разработан автоматизированный 3D-принтер с предусмотренным конвейером.

Подобраны и обоснованы все компоненты и механизмы устройства.

Также, показана работа программной части, а именно, как работает G-кодирование от получения информации о координатных вершинах с так называемой программы-слайсера до преобразования этой информации в оптимальный маршрут движения печатающей головы с экструдером.

Затем рассмотрены методы автоматизации. Был сделан выбор на использовании автоматизированного конвейера, который позволяет экспортировать предмет без участия оператора из рабочей плоскости в сброс.

В последней главе было предложено использовать данный 3D-принтер с автоматизированной конвейерной лентой на мелкосерийном производстве. Предложен и обоснован алгоритм использования устройства, который позволяет вести процесс печати без участия оператора.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		79

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 ГОСТ 20999-83. Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ [Текст]. – Введ. 1983.03.28. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1983. – 29 с.

2 Баранов, В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы [Текст] / В.Н. Баранов. – М.: Издательский дом «Додэка–XXI», 2006. – 288 с.

3 Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 6–е изд., стер. [Текст] / А.В. Евстифеев. – М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2014. – 560 с.

4 Емельянов, А.В. Шаговые двигатели: учеб. пособие [Текст] / А.В. Емельянов, А.Н. Шипин. – Волгоград: ВолГТУ, 2005. – 80 с.

5 Ильин, Ю.В. 3D принтеры: что и зачем [Текст] / Ю. Ильин // САПР и графика – 2016. – № 2. – С. 12–16.

6. Канеса, И. Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития [Текст] / И. Канеса, С. Фонда, М. Зенаро – М.: Университетская книга, 2013. – 192 с.

7 Кристофер, Б. 3D печать: третья индустриальная революция [Текст] / Б. Кристофер – М.: АГРАФ, 2013. – 258 с.

8 Лейбов, А.М. Применение технологий 3D–прототипирования в образовательном процессе [Текст] / А.М. Лейбов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 93.

9 Малышева, В. Л. Возможности 3D принтера в строительстве [Текст] / В. Л. Малышева // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 12. – С. 28–41.

10 Михайлова, А. Е. 3D принтер – технология будущего [Текст] / А. Е. Михайлова // Молодой ученый. – 2015. – №20. – С. 40–44.

									Лист
									80
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.378 ПЗ				

- 11 Мокеева, О. Д. 3D–печать архитектурных макетов и перспективы оснащения их инженерными системами в процессе печати [Текст] / О. Д. Мокеева // Молодой ученый. – 2016. – №7. – С. 128–131.
- 12 Мустафин, Н.Ш. Новейшие технологии в строительстве. 3D принтер [Текст] / Н.Ш. Мустафин // Региональное развитие. – 2015. – № 8. – С 30–34.
- 13 Ревич, Ю.В. 3D в натуре [Текст] / Ю. В. Ревич // Компьютерра. – 2009. – № 8. – С. 37–41.
- 14 Эванс, Б. Практические 3D–принтеры: наука и искусство 3D–печати [Текст] / Б. Эванс. – СПб.: Apress, 2012. – 212 с.
- 15 Floyd, J. 3D Printing: Build Your Own 3D Printer and Print Your Own 3D Objects. – CA.: Que Publishing, 2013. – 192 с.
- 16 Jesse, H. 3D CAD with Autodesk 123D: Designing for 3D Printing, Laser Cutting, and Personal Fabrication. – CA.: Maker Media, 2016. – 118 с.
- 17 Kimberly, S. 3D Printing – Unabridged Guide. – CA.: Tebo, 2013. – 174 с.
- 18 Teliskova, M. Adjustments of RepRap type printer workbench / M. Teliskova, J. Torek // 2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications, 2017. – P. 15 – 19
- 19 Ferreira, I. Low-cost 3D food printing / I. Ferreira, J. Alves // Ciencia e Tecnologia dos Materiais. – 2017. – V.29. – P.265 – 269.
- 20 Sa, L. 3D printing dental composite resins with sustaining antibacterial ability / L. Sa, L. Kaiwu // Journal of Materials Science. – 2018. – V. 54. – P. 3309 – 3318.
- 21 Jerez-Mesa, R. A comparative study of the thermal behavior of three different 3D printer liquefiers / R. Jerez-Mesa, G. Gomez-Gras // Mechatronics. – 2018. – V. 56. – P. 297 – 305.



22 Severini, C. Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects / C. Severini, A. Derossi // Journal of Food Engineering. – 2018. – V. 220. – P. 89 – 100.

23 De Wardt, J.P. Drilling systems automation – A technology that is at a tipping point / J.P. De Wardt, J. Rogers // Society of Petroleum Engineers. – 2012. – V. 2. – P. 1631 – 1640.

24 Saito, A. RepRap SWIMER: Low cost open-source 3D gel printer / A. Saito, K. Sato // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2016. – V. 2. – P. 1020 – 1021.

25 Rebaioli, L. Process parameters tuning and online re-slicing for robotized additive manufacturing of big plastic objects / L. Rebaioli, P. Magnoni, I. Fassi // Process parameters tuning and online re-slicing for robotized additive manufacturing of big plastic objects. – 2018. – V. 55. – P. 55 – 64.

26 Frank, V. B. Co-treatment of residential and oil and gas production wastewater with a hybrid sequencing batch reactor–membrane bioreactor process / V. B. Frank, J. Regnery, K. E. Chan, D. F. Ramey, T. Y. Cath // Journal of Water Process Engineering. – 2017. – V.17. – P. 82 – 94.

27 Jerez-Mesa, R. A comparative study of the thermal behavior of three different 3D printer liquefiers / R. Jerez-Mesa // Mechatronics, B: Chemical. – 2017. – V. 279, №1. – P. 297 – 305.

28 Roy, N.K. Experimental Study of the Subsystems in a Microscale Additive Manufacturing Process / N. K. Roy, D. Behera, O.G. Dibia // JOM. – 2019. – V. 71, №3. – P. 974 – 983.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		82

29 Yacoot, A. Design and performance of a test rig for evaluation of nanopositioning stages / A. Yacoot, P. Klapetek, M. Valtr // Measurement Science and Technology. – 2019. – V. 30, №3. – P. 49 – 65.

30 Camara, D. Robotic surgical rehearsal on patient-specific 3D-printed skull models for stereoelectroencephalography (SEEG) / D. Camara, F. Panov, H. Oemke // International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. – 2019. – V. 14. – P. 139 – 145.

31 Paleń, D. Do-It-Yourself Multi-material 3D Printer for Rapid Manufacturing of Complex Luminaries / D. Paleń, R. Mantiuk // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2019. – V. 889. – P. 469 – 480.

32 Megalingam, R.K. Cost-Effective, Custom-Made, 3D Printer Design and Fabrication for Educational Purposes / R. K. Megalingam, S. Raagul, S. R. Sathi // Proceedings of the 2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICOEI. – 2019. – V. 3. – P. 10 – 15.

33 Ma, B. The accuracy of a 3D printing surgical guide determined by CBCT and model analysis / B. Ma, T. Park, I. Chun // Journal of Advanced Prosthodontics. – 2019. – V. 10, №4. – P. 279 – 285.

34 Jia, Z. Learning from nature: Use material architecture to break the performance tradeoffs / Z. Jia, Y. Yu. // Materials and Design. – 2019. – V. 168. – P. 125 – 133.

35 Ramirez, E.A. Improving positioning of 3D-printed surgical guides using image-processing techniques / E. A. Ramirez, C. G. Helguero, J. L. Amaya // 2017 IEEE 2nd Ecuador Technical Chapters Meeting. – 2017. – V. 2017. – P. 1 – 6.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		83

36 Haefner, M. 3D-Printed masks as a new approach for immobilization in radiotherapy - A study of positioning accuracy / M. F. Haefner, F. L. Giesel, D. Rath // Oncotarget. – 2018. – V. 9, №5. – P. 6490 – 6498.

37 Yankov, E. Comparison of the Accuracy of 3D Printed Prototypes Using the Stereolithography (SLA) Method with the Digital CAD Models / E. Yankov, M. P. Nikolova // MATEC Web of Conferences. – 2017. – V. 137. – P. 12 – 15.

38 Walther, G. Printing Insecurity? The Security Implications of 3D-Printing of Weapons / G. Walther // Science and Engineering Ethics. – 2015. – V. 21, №6. – P. 1435 – 1445.

39 Yampolskiy, M. Using 3D printers as weapons / M. Yampolskiy, A. Skjellum, M. Kretzschmar // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2016. – V. 14. – P. 58 – 71.

40 Little, R.K. Guns don't kill people, 3D printing does? Why the technology is a distraction from effective gun controls / R. K. Little // Hastings Law Journal. – 2014. – V. 65, №6. – P. 1505 – 1514.

41 Ribeiro, M. Interface geometries in 3D multi-material prints by fused filament fabrication / M. Ribeiro, O. Sousa Carneiro, A. Ferreira da Silva // Rapid Prototyping Journal. – 2014. – V. 25, №1. – P. 38 – 46.

42 Pan, H. Application of Internet of Things Technology in 3D Medical Image Model / H. Pan, X. Yang // IEEE Access. – 2019. – V. 7. – P. 5508 – 5518.

43 McOwen, D.W. 3D-Printing Electrolytes for Solid-State Batteries / D. W. McOwen, S. Xu, Y. Gong, Y. Wen // Advanced Materials. – 2018. – V. 30, №18. – P. 55 – 62.

44 Jiménez, M. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects / M. Jiménez, L. Romero, I. Domínguez // Complexity. – 2019. – V. 2019. – P. 11 – 13.

45 Kamble, P.S. Recent Developments in 3D Printing Technologies: Review / P. S. Kamble, S.A. Khoje, J.A. Lele // Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018. – 2019. – №18. – P. 468 – 473.

46 Kung, C. Evaluation of tensile strength of 3D printed objects with FDM process on RepRap platform / C. Kung, H. Kuan, C. Kuan // 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention, ICKII 2018. – 2018. – P. 369 – 372.

47 Jerez-Mesa, R. A comparative study of the thermal behavior of three different 3D printer liquefiers / R.A. Jerez-Mesa, G. Gomez-Gras, J.A. Travieso-Rodriguez // Mechatronics. – 2018. – V. 56. – P. 297 – 305.

48 Woern, A. RepRapable Recyclebot: Open source 3-D printable extruder for converting plastic to 3-D printing filament / A.L. Woern, J.R. McCaslin, A.M. Pringle, J.M.Pearce // HardwareX. – 2018. – V. 4. – P. 2 – 7.

49 Akter, M.S. Temperature optimization of RepRap (Replicating Rapid-prototyper) 3D printer / M.S. Akter, M.H. Kabir // International Conference on Computer, Communication, Chemical, Material and Electronic Engineering, IC4ME2 2018. – 2018. – P. 2 – 3.

50 Saito, A. RepRap SWIM-ER: Low cost open-source 3D gel printer / A. Saito, K. Sato, S. Basher, M. Kawakami // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2018. – V. 10597. – P. 4 – 14.

51 Beeker, L. Open-source parametric 3-D printed slot die system for thin film semiconductor processing / L.Y. Beeker, A.M. Pringle, J.M. Pearce // Additive Manufacturing. – 2018. – V. 20. – P. 90 – 100.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		85

52 Mai, J. Customized production based on distributed 3D printing services in cloud manufacturing / J. Mai, L. Zhang, F. Tao // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – V. 84. – P. 71 – 83.

53 Shrestha, A. Mechanism for Bundling and Tying of Red Raspberry Primocanes / A. Shrestha, M. Karkee, Q. Zhang // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – V. 49. – P. 166 – 170.

54 Liu, X.F. Implementation of mtconnect for open source 3D printers in Cyber Physical Manufacturing Cloud / X.F. Liu, S.M.N. Al Sunny, M.R. Shahriar // Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference. – 2016. – V. 1. – P. 21 – 24.

55 Redutskiy, Y. Conceptualization of smart solutions in industry / Y. Redutskiy // Procedia Computer Science. – 2017. – V.109. – P. 745 – 753.

56 Beitz, S. Influence of powder deposition on powder bed and specimen properties / S. Beitz, R. Uerlich, T. Bokelmann // Materials. – 2016. – V. 12. – P. 31 – 40.

57 Wu, W. Preparation and performance evaluation of silica gel/tricalcium silicate composite slurry for 3D printing / W. Wu, W. Liu // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2018. – V. 503. – P. 334 – 339.

58 Rebaioli, L. Process parameters tuning and online re-slicing for robotized additive manufacturing of big plastic objects / L. Rebaioli, P. Magnoni, I. Fassi // Process parameters tuning and online re-slicing for robotized additive manufacturing of big plastic objects. – 2018. – V. 55. – P. 55 – 64.

59 Armbruster, S. Aerating static mixers prevent fouling / S. Armbruster, A. Brochard // Journal of Membrane Science. – 2017. – V. 17. – P. 537 – 546.

60 Stopakevych, A. Development of computer-integrated systems for the automation of technological process / A. Stopakevych, O. Stopakevych, A. Tigariev //

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		86

Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 3, №2 – 87. – P. 55 – 63.

61 Żukowska, M. Rapid manufacturing and virtual prototyping of pre-surgery aids / M. Żukowska, F. Górski // IFMBE Proceedings. – 2018. – V. 68. – P. 399 – 403.

62 Wu, X. Influence of boundary masks on dimensions and surface roughness using segmented exposure in ceramic 3D printing / X. Wu, Q. Lian, D. Li // Ceramics International. – 2018. – V. 46. – P. 3687 – 3697.

63 Medina, D. Hyperporous carbon-coated 3D printed devices / D. Medina, A. Figuerola // Applied Materials Today. – 2017. – V. 1. – P. 32 – 35.

64 Wojsznis, W. Multi-objective optimization for model predictive control / W. Wojsznis, A. Mehta, P. Wojsznis, D. Thiele, T. Blevins // ISA Transactions. – 2007. – V.46, №3. – P. 351 – 361.

65 Petit, N. Analysis of problems induced by imprecise dating of measurements / N. Petit // IFAC-PapersOnLine. – 2015. – V.48, №8. – P. 966 – 973.

66 Jeon, H. Fabrication and characterization of 3D-printed biocomposite scaffolds based on PCL and silanated silica particles for bone tissue regeneration / H. Jeon, M. Lee, S. Yun, D. Kang // Chemical Engineering Journal, 2018. – P. 519 – 530

67 Kokai, Y. Recent development in open systems / Y. Kokai, F. Masuda, S. Horiike, Y. Sekine // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2018. – V. 20, №2. – P. 111 – 123.

68 Yuan, L. Additive manufacturing technology for porous metal implant applications and triple minimal surface structures / L. Yuan, S. Ding // Bioactive Materials. – 2018. – V. 266. – P. 56 – 70.

					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		87

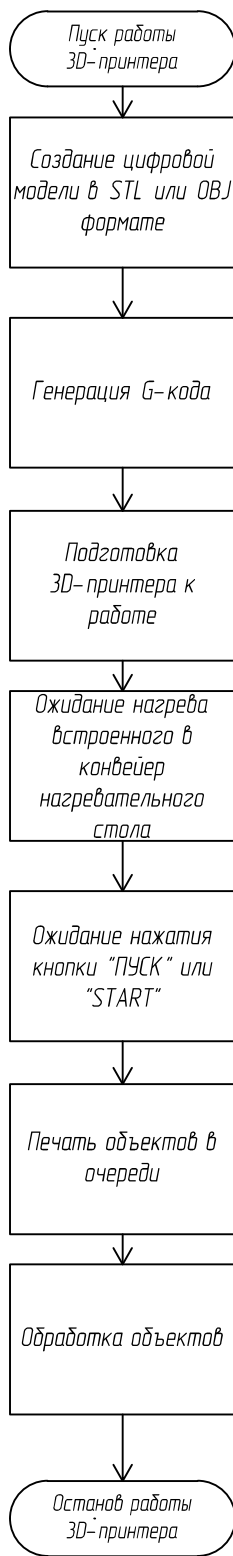
69 Dey, N. Technological evolution in automation / N. Dey // Society of Petroleum Engineers. – 2014. – V. 5. – P. 3347 – 3364.

70 Cruz, C. Control technologies in industrial operations: Technology assessment / C. Cruz, L.A. Cisternas, A. Kraslawski // Separation and Purification Technology. – 2018. – V. 207. – P. 20 – 27.

71 Wu, X. Study on the technology and properties of 3D bioprinting SF/GT/n-HA composite scaffolds / X. Wu, K. Chen, D. Zhang // Materials Letters. – 2018. – V. 2. – P. 89 – 92.

72 Tian, Z. Fabrication and properties of a high porosity h-BN–SiO<sub>2</sub> ceramics fabricated by stereolithography-based 3D printing / Z. Tian, Y. Yang // Materials Letters. – 2016. – V. 236. – P. 144 – 147.

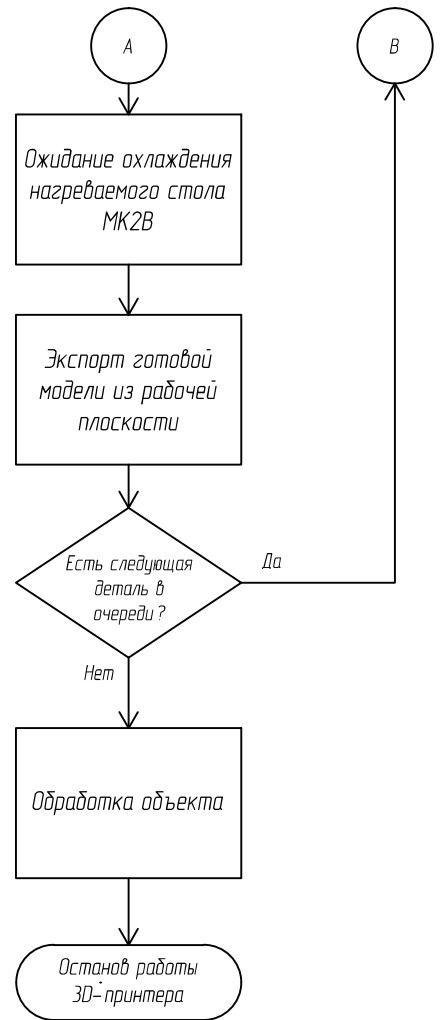
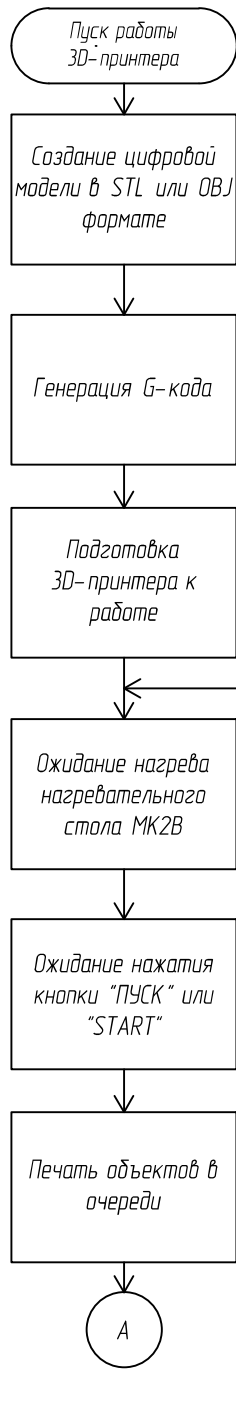
					270304.2020.378 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		88



Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

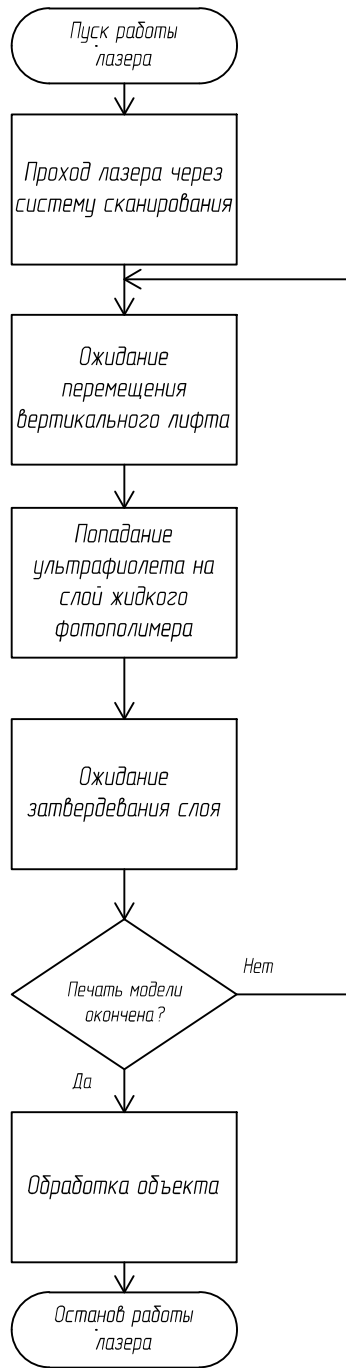
270304.2020.378.01 Д 23					
Автоматизация 3D-печати					
Изм.	Кол.чч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработал		Загорский		<i>ЗГ</i>	10.06
Проверил		Бардасова		<i>ББ</i>	
Н.контр.		Бардасова			
Утвердил		Казаринов			
Процесс работы автоматизированного 3D-принтера.			Стадия	Лист	Листов
Блок –схема					1
			ФГАОУ ВО "ЮрГУ (НИУ)" Кафедра "АиУ"		





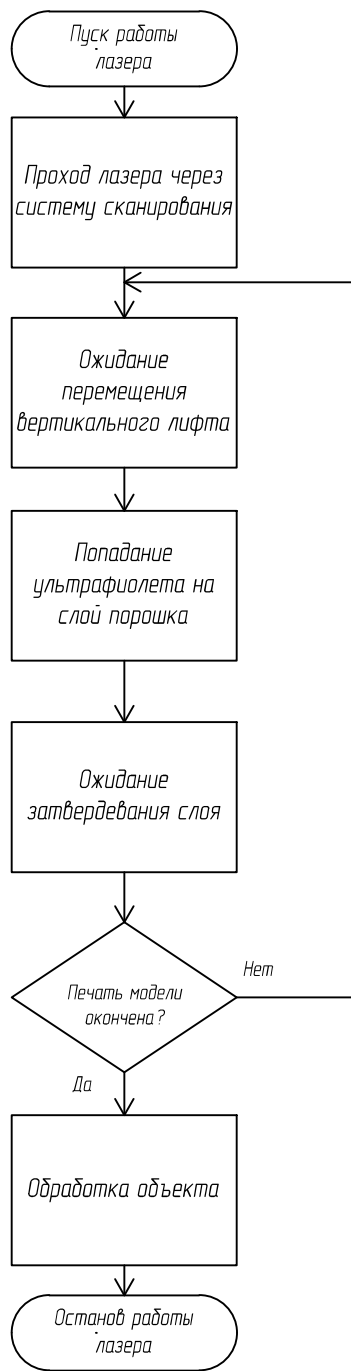
Ожидание затвердевания слоя

Подп. и дата					
Инв. N дубл.					
Взам. инв. N°					
Подп. и дата					
270304.2020.378.02 Д 23					
Автоматизация 3D-печати					
Изм.	Кол.чч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработал		Загорский		<i>ЗГ</i>	10.06
Проверил		Бардасова			
И.контр.		Бардасова			
Утвердил		Казаринов			
Инв. N° подл.		Работа 3D-принтера без использования автоматизации. Блок-схема			1
		Стадия	Лист	Листов	
				1	
ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)" Кафедра "АиУ"					



Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.

270304.2020.378.03 Д 23					
Автоматизация 3D-печати					
Изм.	Кол.чч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработал		Загорский		<i>ЗГ</i>	10.06
Проверил		Бардасова		<i>ББ</i>	
Н.контр.		Бардасова			
Утвердил		Казаринов			
Работа 3D-принтера с типом печати стереолитография. Блок –схема			Стадия	Лист	Листов
					1
			ФГАОУ ВО "ЮрГУ (НИУ)" Кафедра "АиУ"		



Подп. и дата	
Инв. N дубл.	
Взам. инв. N°	
Подп. и дата	
Инв. N° подл.	

270304.2020.378.04 Д 23					
Автоматизация 3D-печати					
Изм.	Кол.чч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработал		Загорский		<i>ЗГ</i>	10.06
Проверил		Бардасова			
Н.контр.		Бардасова			
Утвердил		Казаринов			
Работа 3D-принтера с типом печати лазерное спекание. Блок –схема			Стадия	Лист	Листов
					1
ФГАОУ ВО "ЮрГУ (НИУ)" Кафедра "АиУ"					

Номер	Формат	Обозначение	Наименование	Кол-во листов
			<u>Текстовые документы</u>	
1	A 4	270304.2020.378 ПЗ	Пояснительная записка	89
			<u>Графические документы</u>	
2	A 4	270304.2020.378.01 Д 23	Процесс работы	1
			автоматизированного	
			3D-принтера	
			Блок-схема	
3	A 4	270304.2020.378.02 Д 23	Работа 3D-принтера	1
			без использования	
			автоматизации	
			Блок-схема	
4	A 4	270304.2020.378.03 Д 23	Работа 3D-принтера с	1
			типом печати	
			стереолитография	
			Блок-схема	
5	A 4	270304.2020.378.04 Д 23	Работа 3D-принтера с	1
			типом печати лазерное	
			спекание	
			Блок-схема	

270304.2020.378					
Изм.	Кол.чч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработал		Загорский			10.06
Проверил		Барбасова			
И.контр.		Барбасова			
Утвердил		Казаринов			
			Автоматизация 3D-печати		
		Стадия	Лист	Листов	
				1	
ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)" Кафедра "АиУ"					