Минобрнауки России
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)
Направление подготовки: 09.03.01 *«Информатика и вычислительная техника»*
Направленность образовательной программы *«Системы автоматизированного проектирования»*
Факультет *информационных технологий и управления*
Кафедра *систем автоматизированного проектирования и управления*

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

«Учебно-исследовательский комплекс для автоматизированного проектирования на базе аддитивных полимерных технологий»

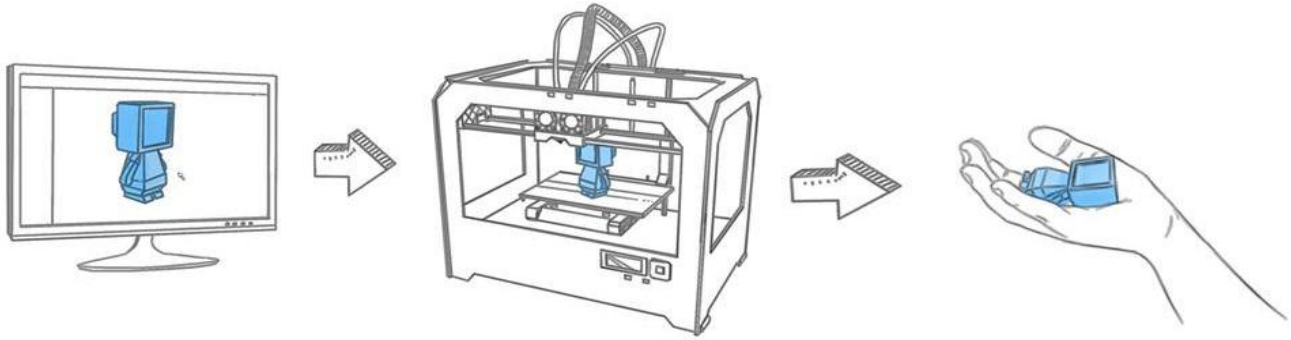
Обучающийся	Студент гр. 434 ***Зренин Алексей Сергеевич***
Руководитель	**Заведующий кафедрой, доктор технических наук, профессор** ***Чистякова Тамара Балабековна***

Работа выполнена в рамках инициативной прикладной НИР кафедры САПРиУ Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) на тему “Автоматизированное проектирование на базе аддитивных технологий различных типов”.

Санкт-Петербург 2017

Актуальность

- Востребованность
- Высокая скорость развития аддитивных технологий
- Широкий выбор материалов для 3D-печати
- Затраты на печать



Цели и задачи

Цель : разработка гибкого настраиваемого учебно-исследовательского комплекса для автоматизированного проектирования на базе аддитивных полимерных технологий

Для достижения заданной цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ характеристик аддитивных полимерных технологий;
- составление формализованного описания процесса выбора технологии 3D-печати и 3D-принтера как объекта автоматизированного проектирования;
- разработка функциональной структуры учебно-исследовательского программного комплекса для выбора технологии 3D-печати и 3D-принтера;
- разработка алгоритма поиска технологии 3D-печати и 3D-принтера по заданным характеристикам 3D-модели печатаемого изделия;
- разработка компонентов информационного обеспечения программного комплекса (база данных характеристик 3D-принтеров, полимерных материалов и технологий 3D-печати);
- разработка математической модели процесса подготовки экструдата для 3D-печати изделий, позволяющей оценить показатели качества экструдата в зависимости от геометрических параметров печатающей головки 3D-принтера, характеристик полимерного материала и температуры головки;
- разработка структуры интерфейсов (администратора баз данных и пользователя – проектировщика) и программного обеспечения учебно-исследовательского комплекса;
- формирование исходных данных для тестирования программного комплекса.

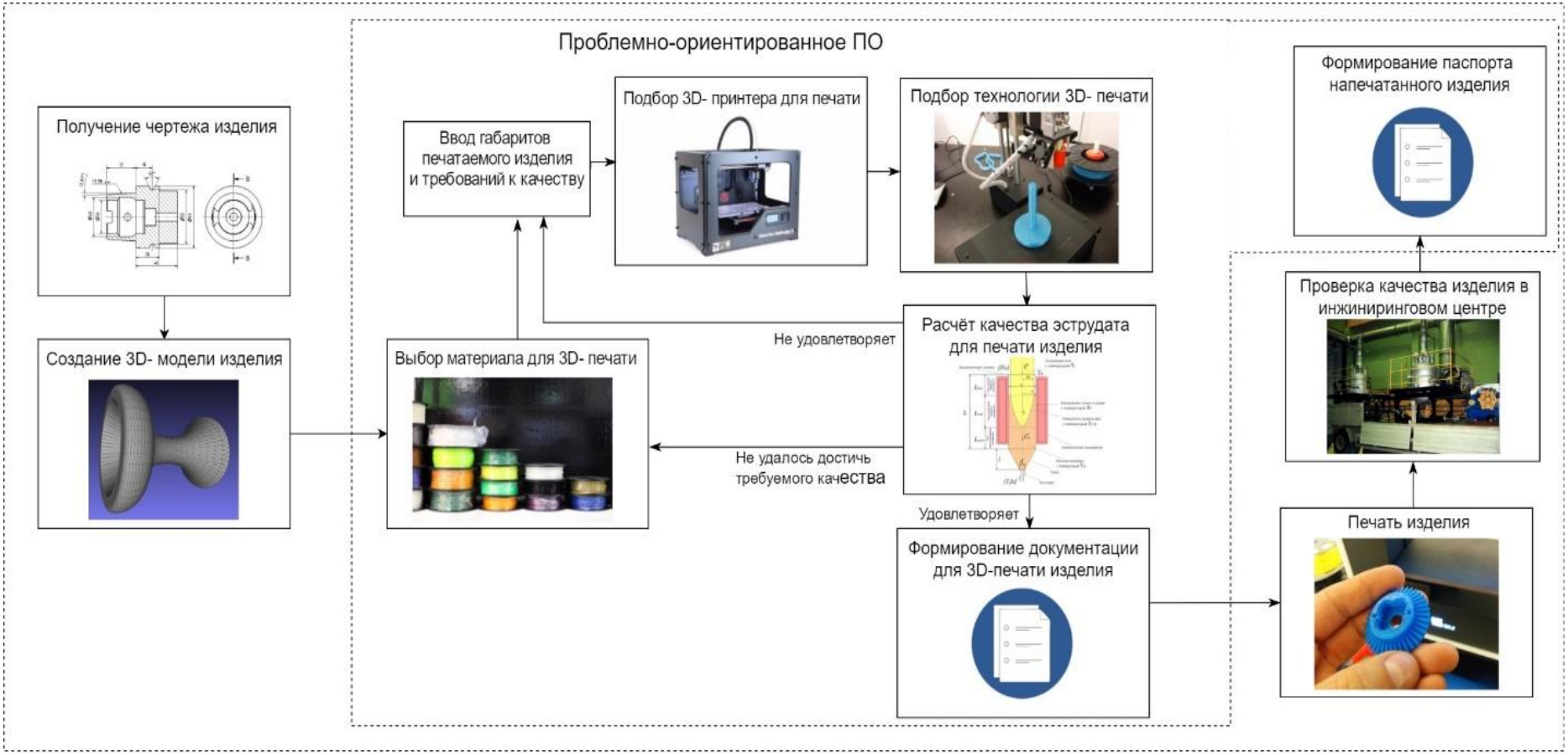
Сравнение технологий 3D-печати

	1	2	1,33	1
	2,33	3	1	1
	1,33	1	2,66	2,5
	3	3	1	1
	1	1	2	1,5
	11	**10**	**7,99**	**7**

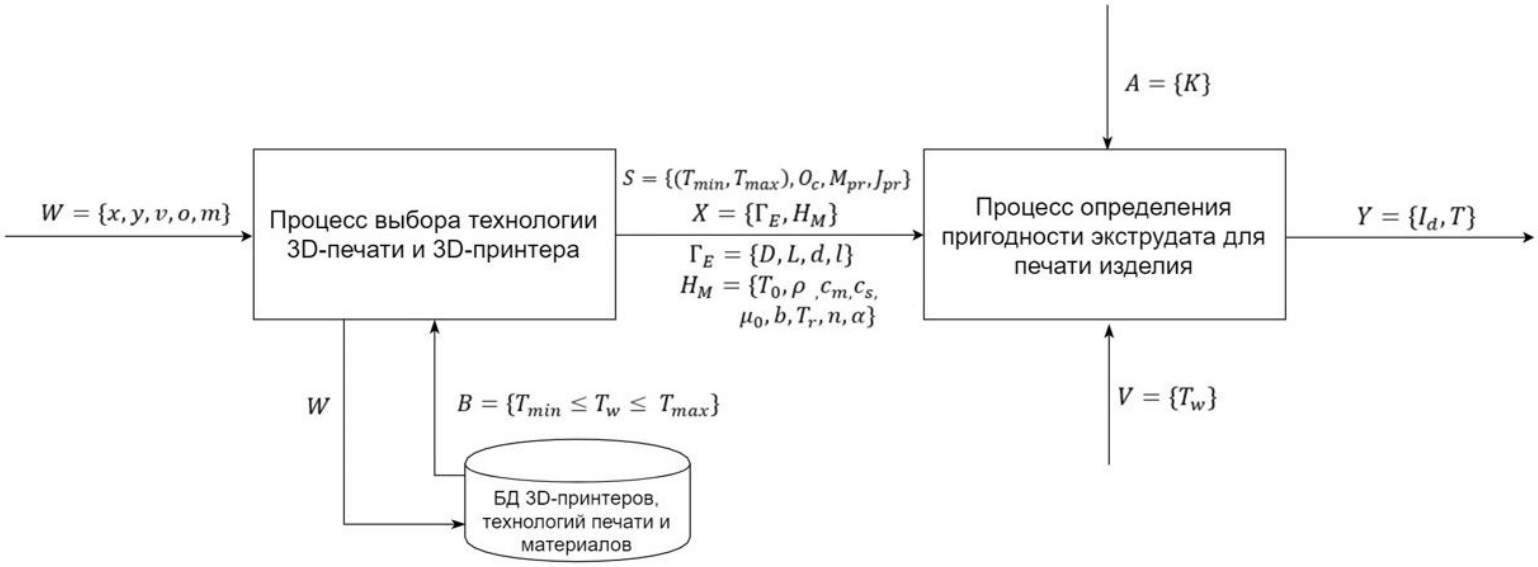
Сравнение 3D-принтеров

	UP! Mini	Hephestos 2	Duplicator i3	Mini w
Поддержка технологий печати на базе полимеров	+	+	+	+
Поддержка формата STL	+	-	-	+
Большой объём модели печати	-	+	+	-
Одноимённое ПО в комплекте	+	-	-	+
Высокая скорость печати	-	+	-	-

Схема жизненного цикла 3D-печати

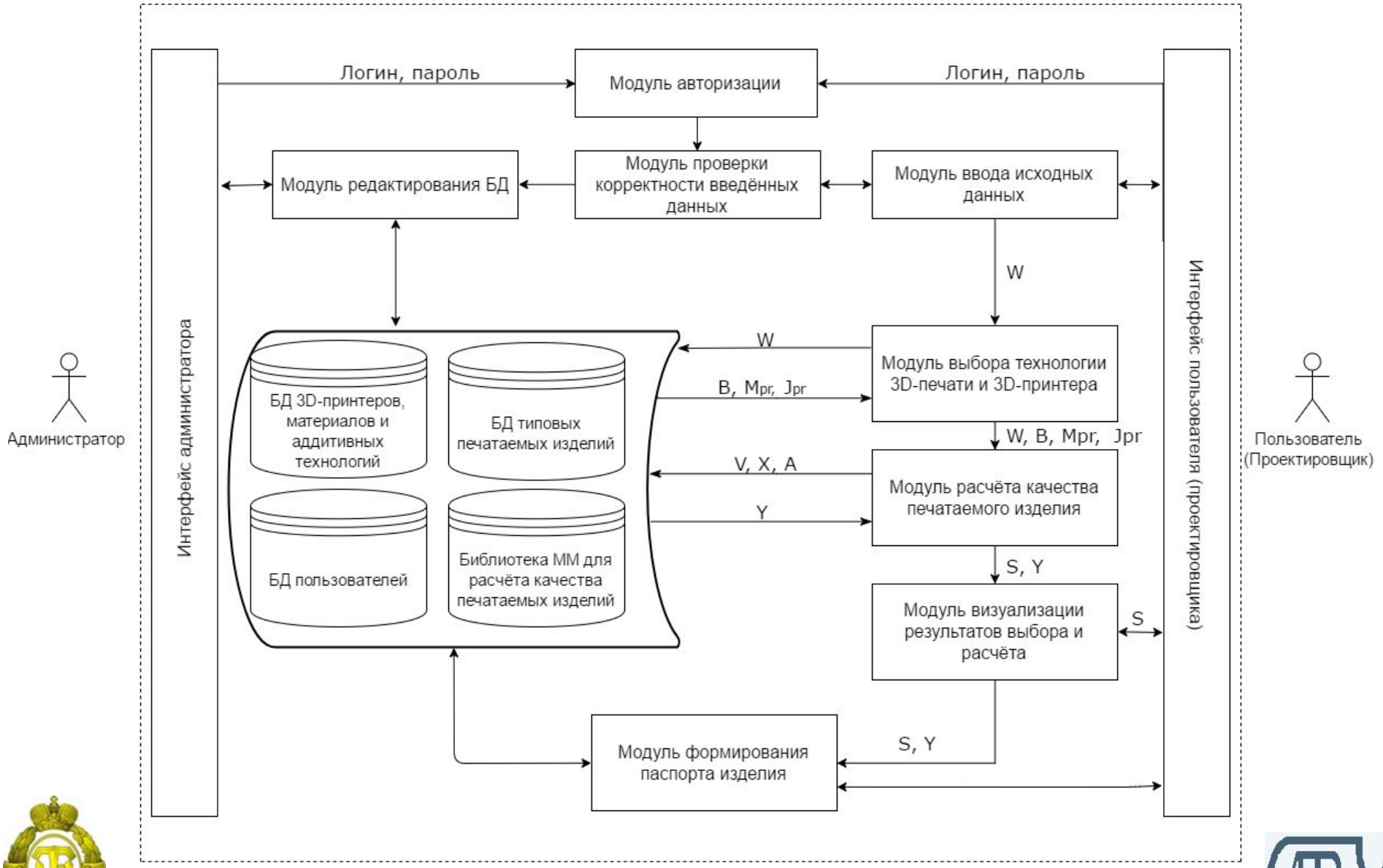


Формализованное описание процессов: выбора 3D-принтера и технологии 3D-печати, определения пригодности экструдата для печати изделия

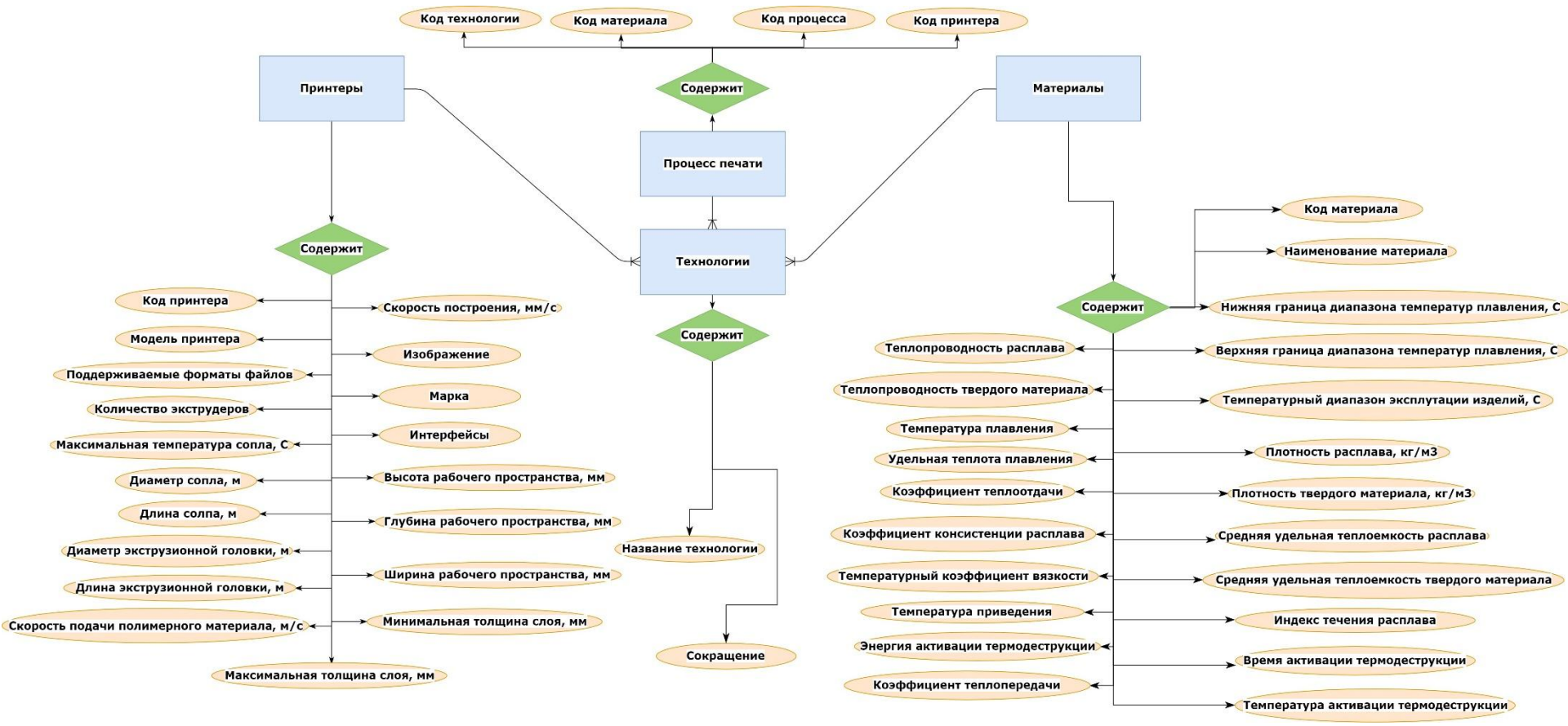


По заданным требованиям к качеству, типу материала и геометрическим характеристикам изделия W подобрать технологию 3D-печати и 3D-принтер S, удовлетворяющие заданным параметрам, где для заданного типа полимерного материала с характеристикам H_M и модели 3D–принтера с экструзионной головкой и соплом, характеризующимися геометрическими параметрами Γ_E, по математической модели процесса подготовки экструдата для 3D–печати определить температуру экструзионной головки T_W, которая обеспечивает выполнение ограничений на температуру и индекс термической деструкции экструдата, определяющих пригодность экструдата к печати изделия: $T > T_{s-m}$, $I_d < I_d^{max}$, с последующим формированием паспорта напечатанного изделия.

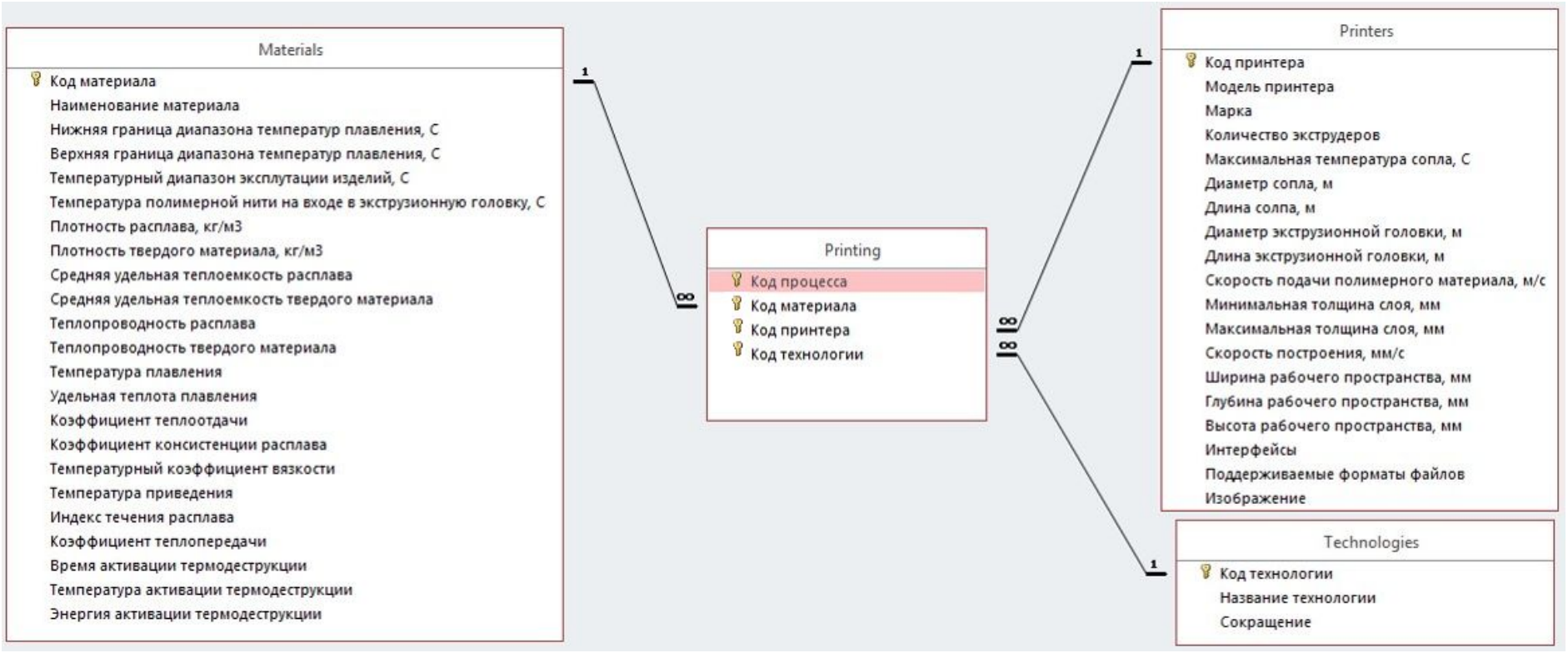
Функциональная структура программного комплекса



Инфологическая модель БД принтеров, технологий печати и материалов



Даталогическая модель БД принтеров, технологий печати и материалов



Алгоритм подбора технологии 3D-печати и 3D-принтера ,с последующим расчётом качества экструдата для печати изделия и формированием паспортов

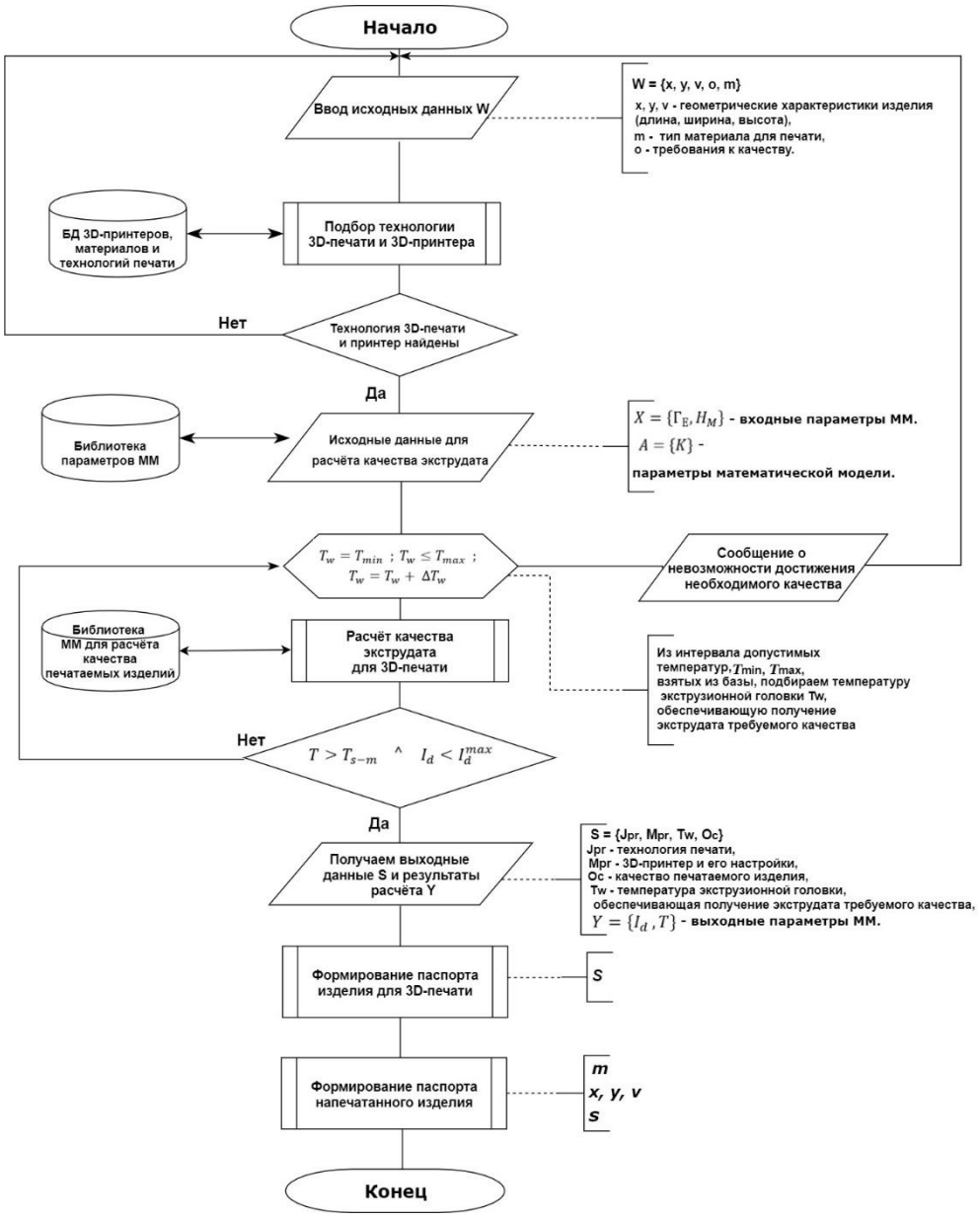
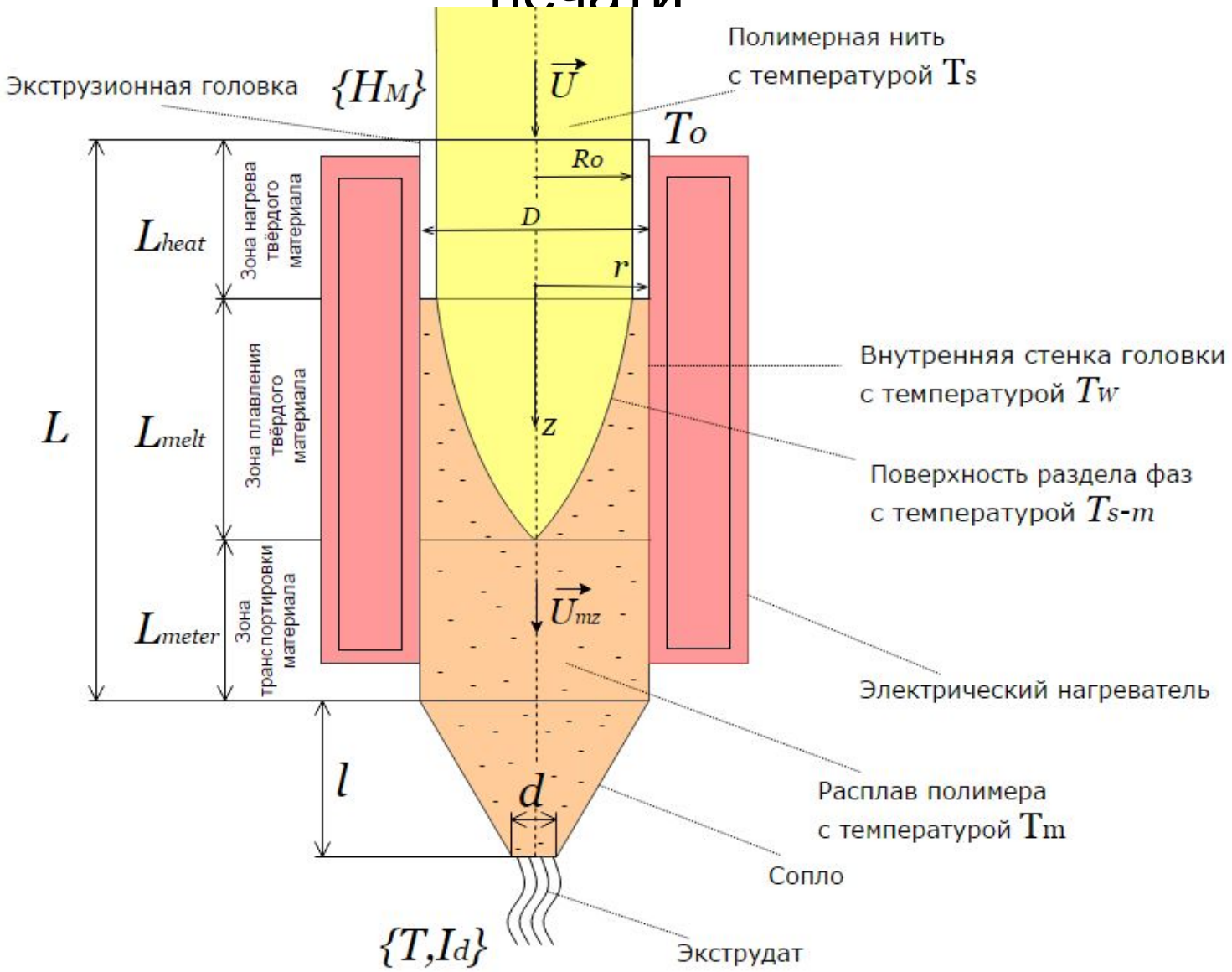


Схема процесса подготовки экструдата для 3D–печати



Допущения, принятые при разработке математической модели для оценки качества экструдата для 3D печати

1) **Процесс теплообмена** в канале головки является **установившимся во времени.** Теплота, подводимая от нагретой стенки головки и выделяющаяся в расплаве за счет работы сил вязкого трения, расходуется на нагрев полимерной нити до температуры плавления T_{s-m}, расплавление нити и нагрев образующегося расплава до температуры T.

2) **Расплав – несжимаемая вязкая жидкость.** Зависимость вязкости расплава η от режима течения (интенсивности сдвигового деформирования) описывается степенным реологическим уравнением Оствальда – де Вилье с постоянным, не зависящим от скорости сдвига индексом течения n.

3) **Теплофизические характеристики твердой фазы и расплава не зависят от температуры** и постоянны в течение всего процесса. Температурная зависимость коэффициента консистенции μ расплава описывается уравнением Рейнольдса.

4) **Течение расплава является ламинарным и установившимся по длине канала.** Скорость течения равна скорости подачи полимерной нити в головку U.

5) **Проскальзывание расплава** относительно стенки головки **отсутствует.**

Структура ММ оценки качества экструдата для печати

Индекс термической деструкции экструдата

$$I_d = \frac{\bar{\tau}}{\tau_d} \cdot exp\left[\frac{E_d}{8{,}31 \cdot (T+273{,}15) \cdot (T_d+273{,}15)} \cdot (T - T_d)\right] \cdot 100 \quad ,$$

среднее время пребывания полимерного материала в экструдере

$$\bar{\tau} = \frac{V_c}{Q} , \quad V_c = V_g + V_p , \quad Q = U \cdot \frac{\pi D^2}{4} ,$$

уравнение теплового баланса для расчёта температуры экструдата

$$K \cdot F \cdot (T_W - T) + \eta \cdot \dot{\gamma}^2 \cdot V_m = G \cdot [c_s \cdot (T_{s-m} - T_0) + r_{s-m} + c_m \cdot (T - T_{s-m})] ,$$

объёмы каналов экструзионной головки и сопла

$$V_g = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \ , \ V_p = \frac{1}{3} \cdot l \cdot \pi \cdot (R^2 + r \cdot R + r^2) \ ,$$

массовый расход полимерного материала и площадь стенки экструзионной головки

$$G = Q \cdot \rho , \ F = \pi \cdot D \cdot L ,$$

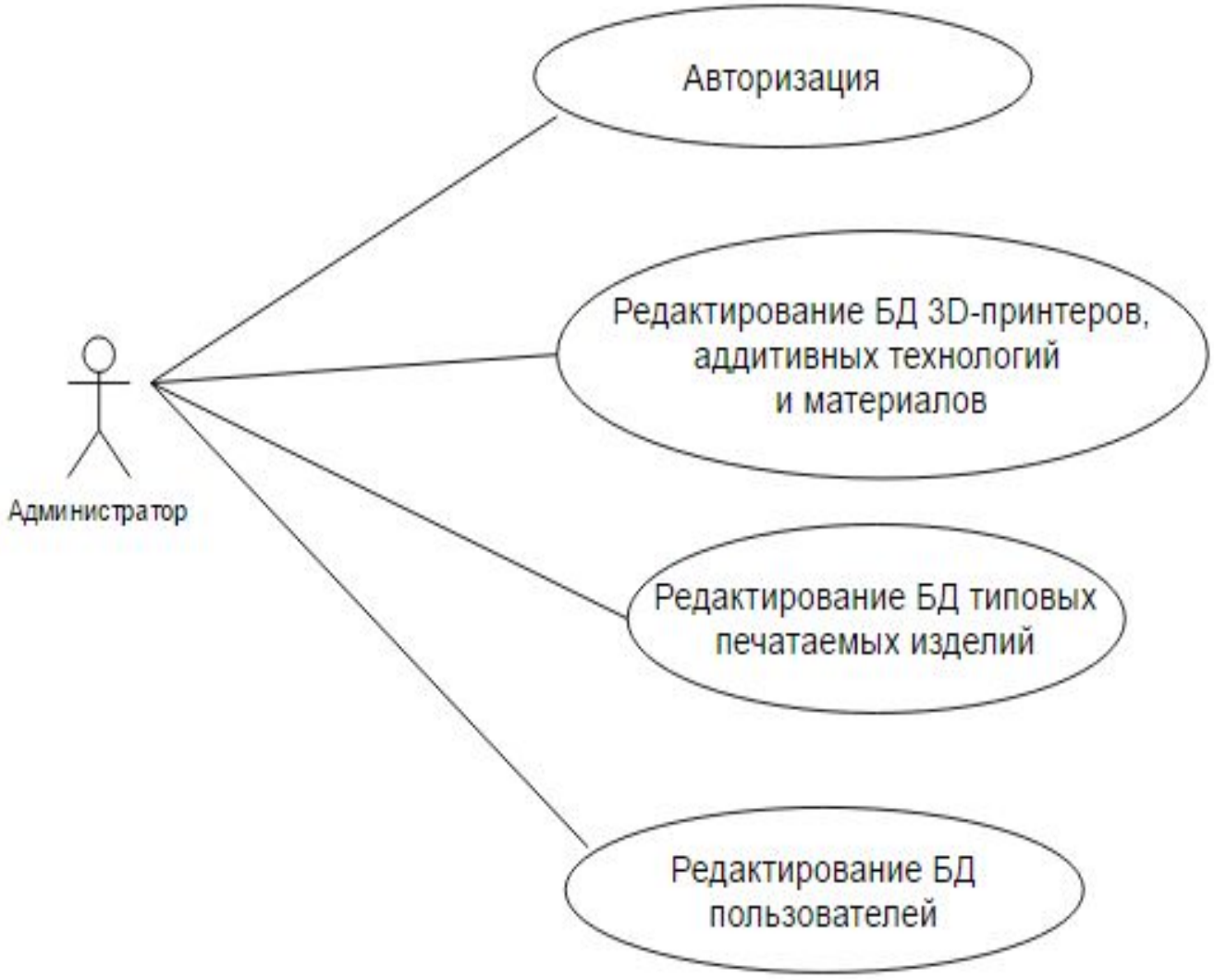
вязкость расплава

$$\eta = \mu_0 \cdot e^{-b(T-T_r)} \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \ , \quad \dot{\gamma} = 2 \cdot \frac{U}{D} ,$$

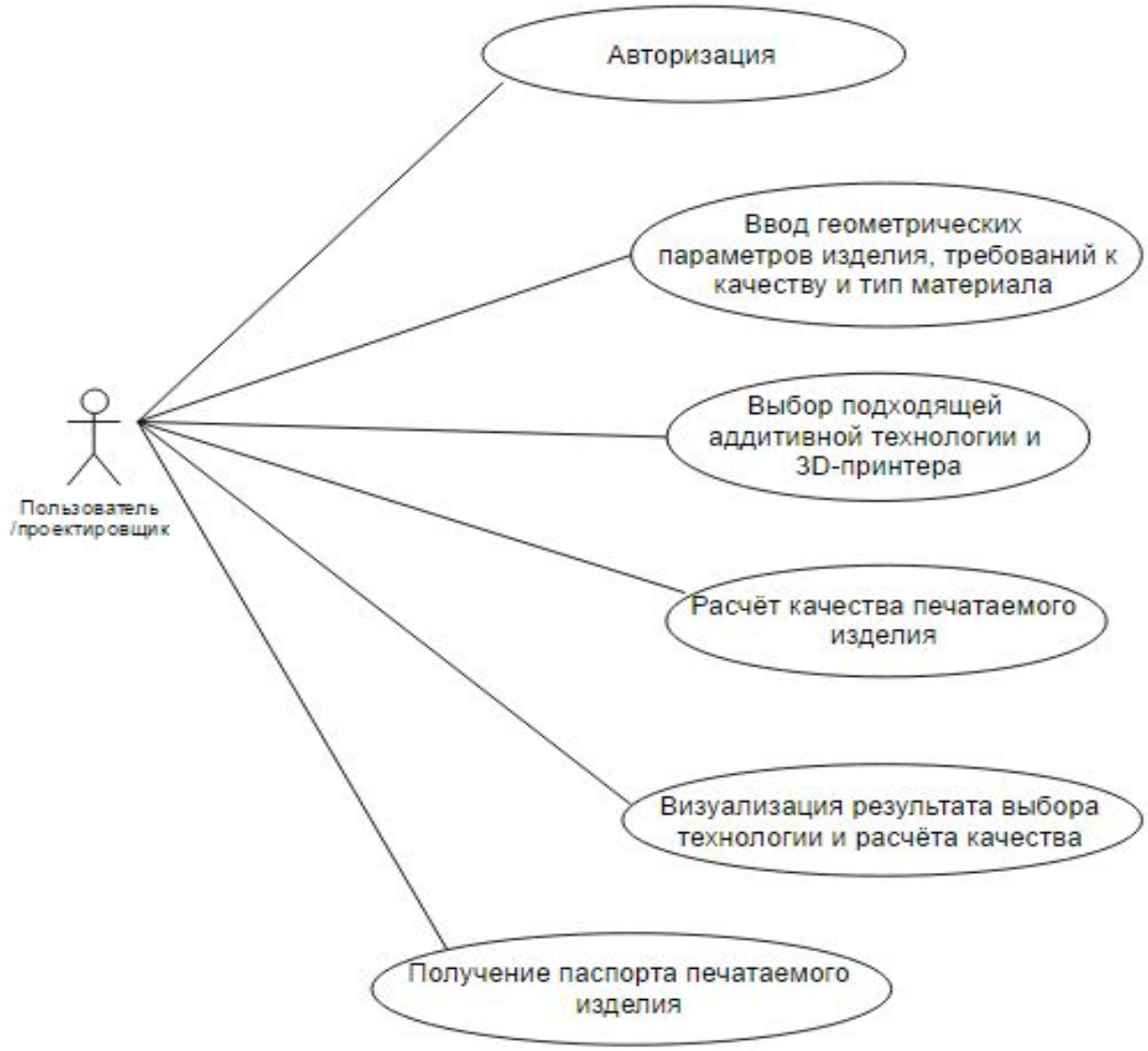
объём канала экструзионной головки, занятого расплавом

$$V_m = \beta \cdot V_c \ .$$

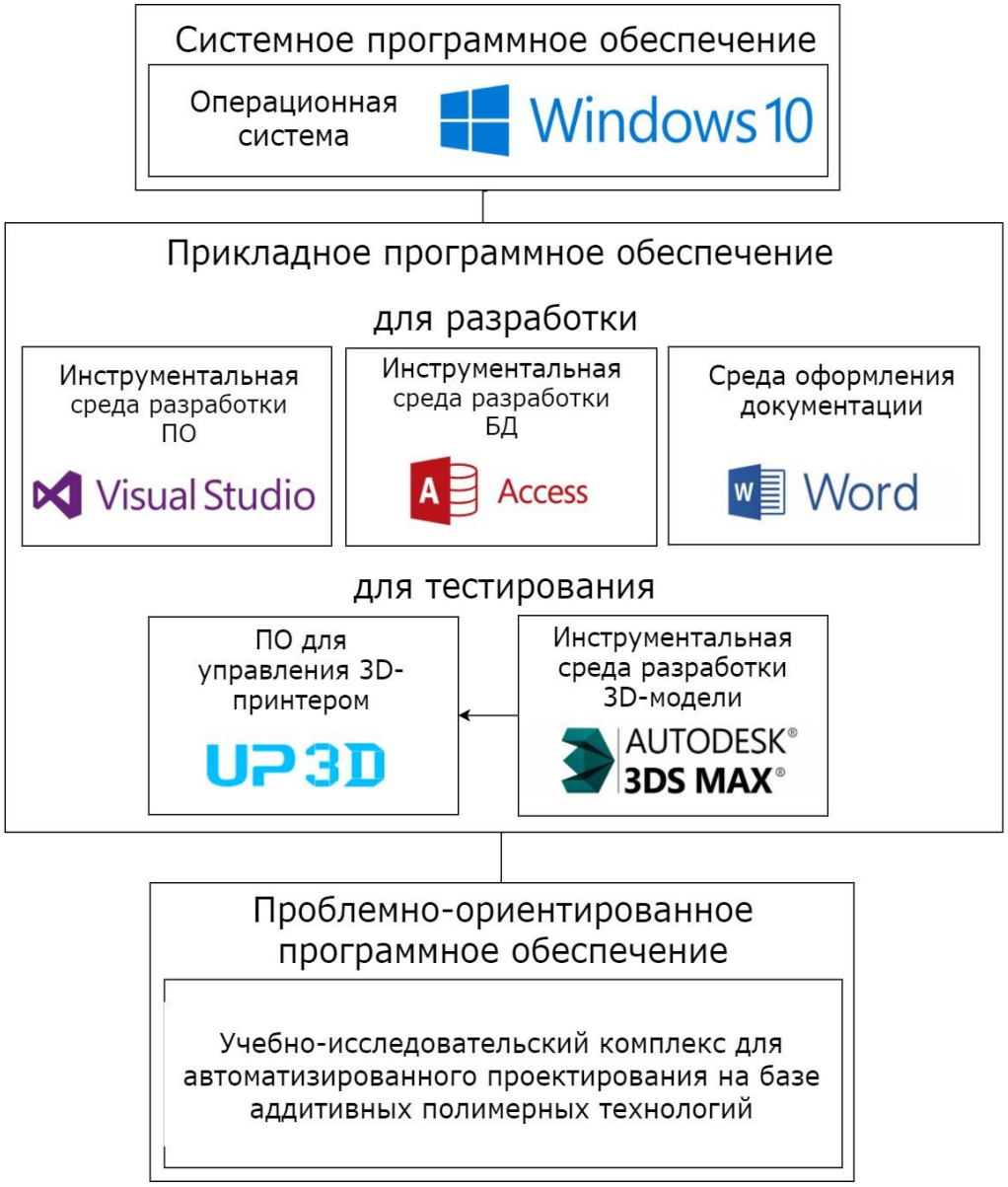
UML – диаграмма использования для администратора



UML – диаграмма использования для пользователя



Структура программного обеспечения



Данные для тестирования программного комплекса

Наименование	Обозначение	Значение	Единица измерения
Длина элемента шнека	x	0,046	м
Высота элемента шнека	y	0,027	м
Ширина элемента шнека	v	0,046	м
Тип полимерного материала	m	Акрило-нитрил-бутадиен-стирол	–
Требования к качеству (индекс термической деструкции)	I_d	10	%

Данные для тестирования пригодности экструдата для печати

Наименование	Обозначение	Значение	Единица измерения
Геометрические параметры экструзионной головки и сопла			
Диаметр экструзионной головки	D	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	м
Длина экструзионной головки	L	$20 \cdot 10^{-3}$	м
Диаметр на выходе сопла	d	$0{,}4 \cdot 10^{-3}$	м
Длина сопла	l	$5{,}0 \cdot 10^{-3}$	м
Характеристики полимерного материала			
Плотность полимерного материала	ρ	1050	кг/м^3
Средняя удельная теплоемкость расплава	c_m	2400	Дж/(кг· °С)
Средняя удельная теплоемкость твердого материала	c_s	1300	Дж/(кг· °С)
Температура плавления	T_{s-m}	220	°С
Удельная теплота плавления	r_{s-m}	140000	Дж/кг
Коэффициенты математической модели, зависящие от типа полимерного материала			
Коэффициент консистенции расплава при температуре приведения T_r	μ_0	39300	Па·с^n
Температурный коэффициент вязкости	b	0,024	1/°С
Температура приведения	T_r	210	°С
Индекс течения расплава	n	0,25	–
Коэффициент теплоотдачи от нагретой стенки экструзионной головки к полимерной нити	K	1100	Вт/(м^2· °С)
Режимные параметры процесса подготовки экструдата			
Скорость подачи полимерного материала	U	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$	м/с
Температура экструзионной головки	T_W	260	°С

Результаты тестирования

Пользователь : user

Учебно-исследовательский комплекс

Файл Настройки О программе Справка

Ввод исходных данных

Параметры изделия

Высота изделия, мм 27

Ширина изделия,мм 46

Длина изделия, мм 46

Материал ABS пластик

Требования к качеству:

Индекс термической деструкции материала, %

Рекомендованный для данного материала: 10

Выбранный: 10

Подобрать

Выбор 3D-принтера

Поиск

Модель принтера

HORI H1+

Up! 3d printer mini

Wanhao Duplicator 4S

Zortrax M200

Технология печати

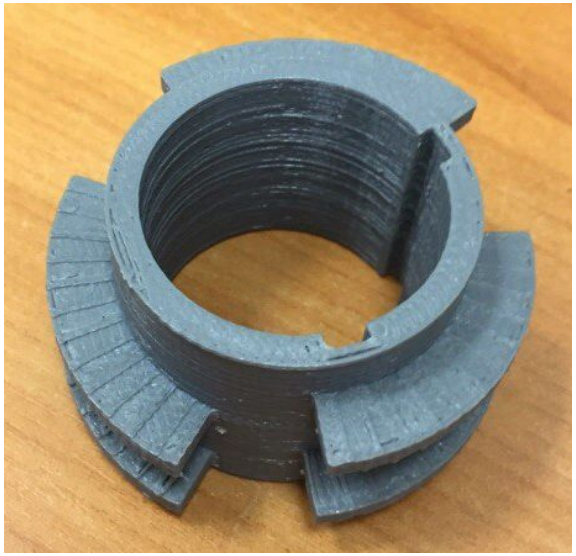
Расплавление нитей PJP/FDM/FFF

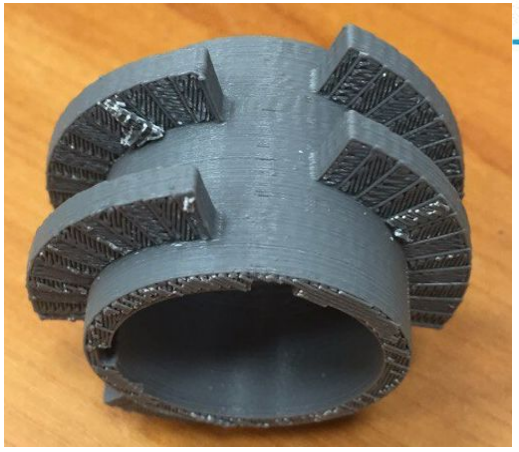
Изображение

Подробная информация

Код принтера	Модель принтера	Марка	Количество экструдеров	Максимальная температура сопла, С	Диаметр сопла, м	Длина солпа, м	Диаметр экструзионной головки, м
1	Up! 3d printer mini	PP3DP	1	260	0,0004	0,005	0,0018

Далее





Расчёт качества изделия и формирование паспорта для 3D-печати

Название изделия:

Длина изделия:	27 мм
Ширина изделия:	46 мм
Высота изделия:	46 мм
Выбранный материал:	ABS пластик
Выбранный 3D-принтер:	Up! 3d printer mini
Технология печати:	Расплавление нитей (PJP/FDM/FFF)

Температура экструзионной головки

230 260

230

Температура экструдата не достигла температуры плавления!

Индекс термической деструкции экструдата, %: 1

Температура экструдата, С: 211,8

Характеристика программного обеспечения

Показатель	Значение
Среда разработки	Microsoft Visual Studio 2015 Community
Технология программирования	Объектно-ориентированное программирование
Язык программирования	C#
Количество входных переменных	5
Количество внутренних переменных	58
Количество выходных переменных	4
Модель описания данных	Реляционная
СУБД	MS Access
Тип связей между таблицами в базе данных	1-М, М-М
Текущий объем базы данных, Кб	7000
Размер исполняемого файла, Кб	329
Время обработки данных и визуализации результатов, мс	214

Характеристика технического обеспечения

Показатель	Значение
Тип ЭВМ	Персональный компьютер на базе микропроцессора Intel Core 2 Duo
Тактовая частота процессора, МГц	1400
Объем оперативной памяти, Мб	512
Объем внешней памяти, Мб	200
Состав и характеристика периферийных устройств ЭВМ	Монитор, клавиатура, мышь
Операционная система	Microsoft Windows 7
Прикладное ПО	MS Access, Adobe Reader

Выводы

Разработан гибкий настраиваемый учебно-исследовательского комплекс для автоматизированного проектирования на базе аддитивных полимерных технологий, включающий в себя базу данных материалов, 3D-принтеров и технологий печати, а также математическую модель для определения пригодности экструдата для печати изделия и позволяющий решить следующие задачи:

- Выбор 3D-принтера и технологии печати по заданному типу материала, геометрическим характеристикам изделия и требованиям к качеству;
- Определить пригодность экструдата для печати изделия;
- Сформировать паспорт для печати изделия и паспорт напечатанного изделия.

Тестирование показало, что программный комплекс работает корректно и пригоден для использования.

По результатам выполненной работы были опубликованы тезисы доклада:

Зренин А.С. Архитектура учебно-исследовательского комплекса для автоматизированного проектирования на базе аддитивных полимерных технологий // Сборник тезисов VII Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «НЕДЕЛЯ НАУКИ - 2017» (5-7 апреля 2017 г.)– СПб.:2017. – С.215

«Учебно-исследовательский комплекс для автоматизированного проектирования на базе аддитивных полимерных технологий»

e-mail : alexeizrenin@gmail.com
Контактный телефон : +79110352840