

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Кафедра теоретической и прикладной механики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Использование аддитивной технологии для изготовления рабочих колес центробежного скважинного насоса</b>

УДК 622.276.53.054-253-047.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Курнашов Сергей Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТПМ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Антонова И.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Е.С.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i><b>Общекультурные компетенции</b></i>		
P1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1; ОК- 9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий	Требования ФГОС (ОК-7; ОК- 11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2, п. 5.2.8 , п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.	Требования ФГОС (ОК -5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность	Требования ФГОС (ОК-4; ПК- 9; ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах	Требования ФГОС (ОК-2; ОК- 3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.12; п. 5.2.14, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, нефтегазового комплекса и в отраслевых научных организациях	Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>		
Р7	Умение использовать методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в нефтегазовой отрасли, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной продукции	Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р8	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций	Требования ФГОС (ПК-1; ПК- 3; ПК-26) , Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р9	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия	Требования ФГОС (ПК-2; ПК- 4; ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	Умение проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р11	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий нефтегазового производства	Требования ФГОС (ПК-6; ПК- 12; ПК-14; ПК-15; ПК-24), Критерий 5 АИОР (п.5.2.3; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р12	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования.	Требования ФГОС (ПК-21; ПК- 22; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов  
 Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
 Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
 Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
4Е31	Курнашову Сергею Игоревичу

Тема работы:

Использование аддитивной технологии для изготовления рабочих колес центробежного скважинного насоса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.03.2017, № 2305/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является рабочее колесо погружного скважинного насоса ЭЦВ 8-25-100.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения мировой техники в рассматриваемой области.</li> <li>2. Моделирование процесса влияния центробежной силы на рабочее колесо с последующим прочностным расчетом.</li> <li>3. Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережение.</li> <li>4. Социальная ответственность.</li> <li>5. Выводы по работе.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Антонова И.С., доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Невский Е.С., ассистент
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
---	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.02.2017 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТПМ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Курнашов Сергей Игоревич		

**Образец графика выполнения ВКР**  
**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки: 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»  
Профиль подготовки: «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»  
Уровень образования: бакалавриат  
Кафедра теоретической и прикладной механики  
Период выполнения: весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2017 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
28.04.2017	<i>Объект и методы исследования. Разработка модели</i>	50
15.05.2017	<i>Выполнение расчетной части</i>	40
30.05.2017	<i>Устранение недочетов в работе</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТПМ	Симанкин Ф.А.	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 87 с., 25 рисунков, 20 таблиц, 20 источников.

Ключевые слова: аддитивная технология, 3D-печать, послойное наплавление, стереолитография, рабочее колеса, центробежная сила, расчет на прочность, напряженно-деформированное состояние, шероховатость.

Объектом исследования является рабочее колесо погружного скважинного насоса ЭЦВ 8-25-100, предназначенного для перекачивания воды из артезианских скважин.

Цель работы – определение применимости технологии 3D-печати для изготовления деталей насосного оборудования, на примере рабочих колес погружного центробежного насоса.

Задачи:

- численное моделирование процесса нагружения элементов рабочего колеса центробежными усилиями; расчеты с помощью полученной модели рабочего колеса, изготовленного из различных материалов;
- сравнение различных материалов, используемых при 3D-печати;
- определение наиболее эффективного способа постпечатной обработки для улучшения качества поверхности изготовленных деталей.

В данной выпускной квалификационной работе на основе проведенного статического прочностного расчета и оценке влияние центробежной силы на напряженно-деформированное состояние рабочего колеса, изготовленного при помощи технологии 3D-печати, сделан вывод о применимость технологии 3D-печати для изготовления различных деталей при ремонте оборудования. Также были проанализированы различные способы постпечатной обработки деталей, получаемых при помощи технологии послойного наплавления, на основе проведенного исследования качества поверхности.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

FDM – fused deposition modeling;

ABS – акрилонитрилбутадиеностирол;

PC – поликарбонат;

PLA – полилактид;

PA – полиамид.

## Оглавление

Введение	10
1 Обзор литературы	12
2 Объект и методы исследования	20
2.1 Технологии изготовления полимерных деталей	20
2.2 Способы ремонта полимерных деталей	23
2.3 Общие сведения о технологии 3D-печати	24
2.4 Постпечатная обработка	29
2.5 Методы исследования	31
2.6 Используемые пакеты прикладных программ	33
3 Расчеты и аналитика	35
3.1 Статический прочностной анализ рабочего колеса методом конечных элементов	35
3.2 Аналитический расчет на прочность рабочего колеса	38
3.3 Испытание материалов для 3D-печати на растяжение (сжатие)	41
3.4 Исследование влияния шероховатости поверхности	44
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
5 Социальная ответственность	76
Заключение	84
Список использованных источников	86

## **Введение**

Развитие научно-технического прогресса и экономики связано с постоянным ростом энергоемкости, производительности и стоимости применяемого оборудования. Характерной чертой современного транспортно-технологического оборудования является высокий уровень надежности и, соответственно, большие сроки эксплуатации. Затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования постоянно растут. В связи с этим, простои, вызванные утратой работоспособности деталей из-за поломки, износа или повреждения, вызывают значительные финансовые потери предприятия из-за упущенной прибыли, размеры которой могут быть соизмеримы со стоимостью нового оборудования. Основной причиной столь значительных финансовых потерь предприятия из-за отказа оборудования, является длительное время ожидания поступления запасных частей. Учитывая территориальные особенности нашей страны, удаленность ряда промышленных, строительных и добывающих предприятий от крупных транспортных узлов и расположение предприятий-изготовителей запасных частей оборудования в различных странах мира, можно отметить целесообразность и экономическую обоснованность изготовления запасной части оборудования непосредственно на эксплуатационном предприятии с применением современных аддитивных технологий.

Процессы объединения материалов с целью создания объектов из данных 3-D модели, как правило, слой за слоем, в отличие от традиционных производственных технологий получили название «аддитивных технологий».

Одной из основных причин выхода из строя центробежных насосов на нефтегазовых промыслах является износ и поломка рабочих колес, в связи с возникающим явлением кавитации, а также механическим и химическим воздействием рабочих колес с агрессивной средой добываемой перекачиваемой жидкости.

Поэтому использование аддитивной технологии 3-D печати для изготовления рабочих колес центробежных насосов из полимерных материалов

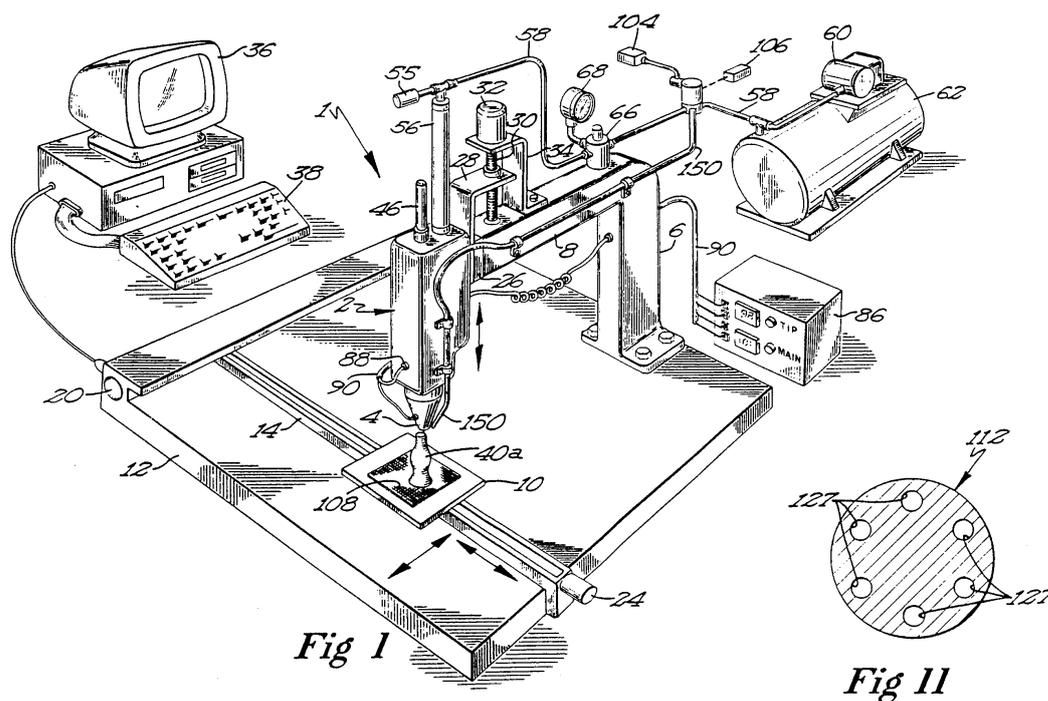
непосредственно на добывающем промысле является перспективным в области производства запасных частей и комплектующих деталей оборудования.

В основе современных аддитивных технологий лежит метод формирования детали из полимерного композиционного материала путем постепенного наращивания с помощью термического или какого-либо иного воздействия, в результате которого получается деталь необходимой формы с заданными размерами. В настоящее время существует уже более 30 различных типов аддитивных технологических процессов. Основными преимуществами аддитивных технологий перед традиционными являются: сокращение трудоемкости изготовления; сокращение сроков проектирования и изготовления детали; снижение себестоимости проектирования и изготовления детали; экономия машиностроительных материалов.

Целью данной работы является определение применимости технологии 3D-печати для изготовления деталей насосного оборудования, на примере рабочих колес погружного центробежного насоса.

## 1 Обзор литературы

Первый патент по формированию 3D-объектов методом FDM был подан в 1989 году компанией Stratasys, Inc. По существу, данный патент является первым, описывающим аппаратное оформление и процесс 3D-печати термопластичными полимерами. Принципиальная схема установки приведена на рисунке 1.



U.S. Patent

June 9, 1992

Sheet 1 of 3

5,121,329

Рисунок 1 – Принципиальная схема установки для 3D-печати термопластичными полимерами

Принципиальная схема аппарата включает в себя головку, подающую термопластичный полимер,двигающуюся в 3-х направлениях (X, Y, Z - оси), и управляющий компьютер. Авторы утверждают, что данная технология может быть использована для печати самоотверждаемыми восками, термопластами, расплавленными металлами, двухкомпонентными эпоксидами, вспененными полимерами и стеклом.

Чуть позднее был получен патент на метод печати термопластичными полимерами с использованием методологии струйной печати применительно к FDM-процессу [Gore D.W., Method for producing a free-form solid-phase object

from a material in the liquid phase, US 5257657A, Jul 11, 1990]. Изобретение касается самого метода нанесения материала на поверхность подложки. Автор предлагает формировать конструкции послойно, с использованием капель расплавленного полимерного материала, наносимых при определенных значениях температуры, скорости и траектории подачи материала.

Принципиальная схема, представленная на рисунке 2, в дальнейшем была использована как основа для крупногабаритной печати [Armando C., Tridimensional multifunction plotter, US 5285579A, Feb 22, 1990]. Основные изменения в конструкции касаются управления и движения печатающей головки. Кроме того, конструкция печатающей головки включает в себя ряд сенсорных систем для точного позиционирования. Принципиальная схема конструкции представлена на рисунке 2.

U.S. Patent Feb. 15, 1994 Sheet 2 of 12 5,285,579

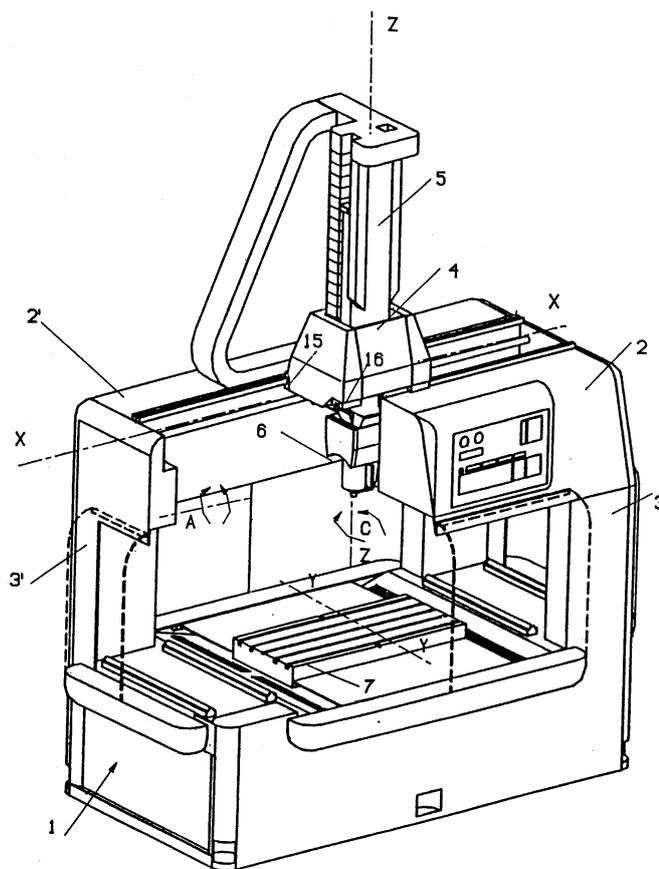


Рисунок 2 – Конструкция печатающей части 3D-принтера плоттерного типа

Продвинутая система позиционирования сопла по принципу замкнутой петли была изобретена в 1991 г. Авторами предложена конструкция печатающей головки, а также продвинутая система 3D-позиционирования в пространстве, включающую сенсорную систему обратного отклика.

Необычное техническое решение для формирования 3D-объектов предложено авторами следующего патента. В предлагаемом методе используется конструкция с 3-мя отдельными головками, выполняющими отдельные функции (рисунок 3).

U.S. Patent Mar. 14, 1995 Sheet 10 of 12 5,398,193

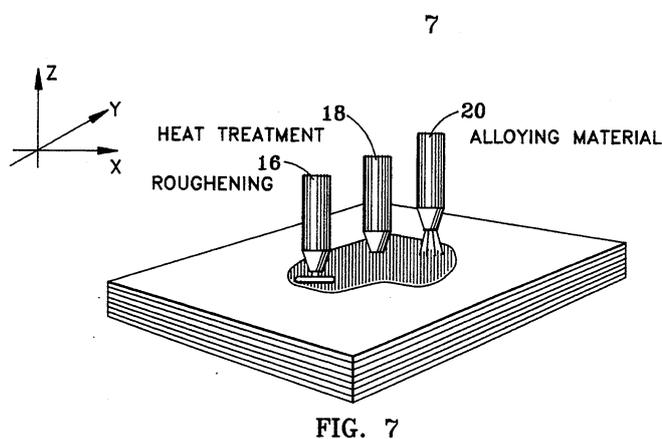


Рисунок 3 – Принципиальная схема FDM-процесса с использованием 3-х головок

В данном варианте одна головка служит для нанесения материала, вторая – для прогрева полученного слоя и 3-я – для выравнивания поверхности с целью получения максимально ровного слоя.

Достаточно близким к FDM-процессу является технология послойной укладки нитей или фольги на поверхность с формированием 3D-объекта. В качестве печатной головки используется сопло, подающее волокно или нить с определенной скоростью. Обязательным условием для реализации процесса является наличие монохроматического лазера для контроля укладки печатного материала (отклонений по X, Y - осям).

Для 3D-печати протяженных материалов автором патента предложен метод секторного формирования модели. Суть метода заключается в использовании движущейся независимо управляемой основы для формования материала и независимо управляемого сопла для нанесения материала (рисунок 4).

U.S. Patent Aug. 19, 1997 Sheet 6 of 6 5,658,520

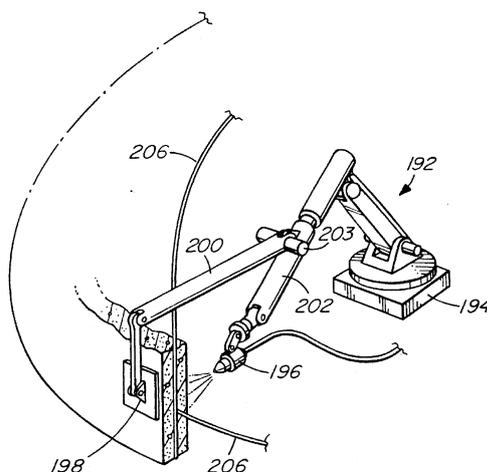


Рисунок 4 – Процесс формования детали с использованием движущейся основы и независимо управляемого сопла

Ключевой особенностью процесса является постепенное смещение основы в процессе печати для обеспечения эффективного перекрытия слоев и реализации прочного взаимодействия между слоями.

Технология FDM была использована и для печати композиционными материалами. В данном случае композиционный материал с термопластичным связующим экструдируется через сопло с последующим застыванием и формированием 3D-структуры объекта (рисунок 5).

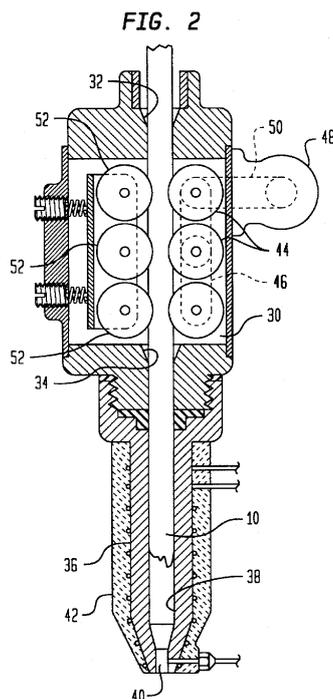


Рисунок 5 – Конструкция сопла для экструдирования композитных материалов

Методы позиционирования сопла и управление им мало отличаются от таковых в исходных патентах. Другим, похожим, примером является патент, где армирующий материал в виде порошка или частиц вводится непосредственно в печатающую головку, где смешивается с термопластичным связующим.

Известны примеры, когда 3D-печать осуществляется с использованием термопластичных полимеров, поступающих в печатающую головку в виде нити. Полимерная нить в данном случае подается валками и поступает в экструдер, где уже выдавливается под действием напорного насоса (рисунок 6).

FIG. 3.

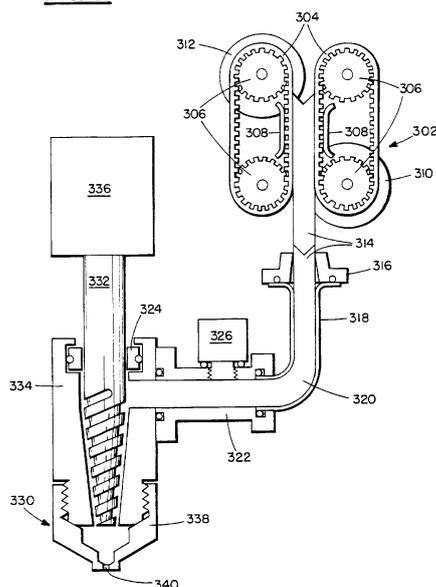


Рисунок 6 – Конструкция печатающей головки для 3D-формования композитных материалов

Одним из усовершенствований метода 3D-печати является метод укладки расплавленной нити, характеризующийся минимальным объемом краевых полостей. Принципиальная схема укладки расплавленного материала представлена на рисунке 7.

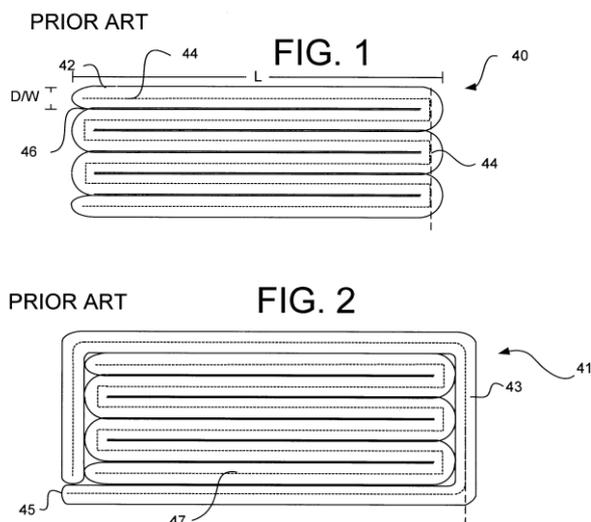


Рисунок 7 – Принципиальная схема укладки расплавленной нити в FDM-процессе

Существует патент на печать полимерными композитными материалами с использованием армирующих нитей. Принципиально конструкция сопла и печатающей головки не отличается от таковых в классическом FDM процессе. Отличительной особенностью конструкции является наличие узла подачи волокна в экструдирующую головку.

Еще одной технологией для печати композитными материалами, армированными волокном, является технология печати совмещенная с процессами фотополимеризации. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 8.

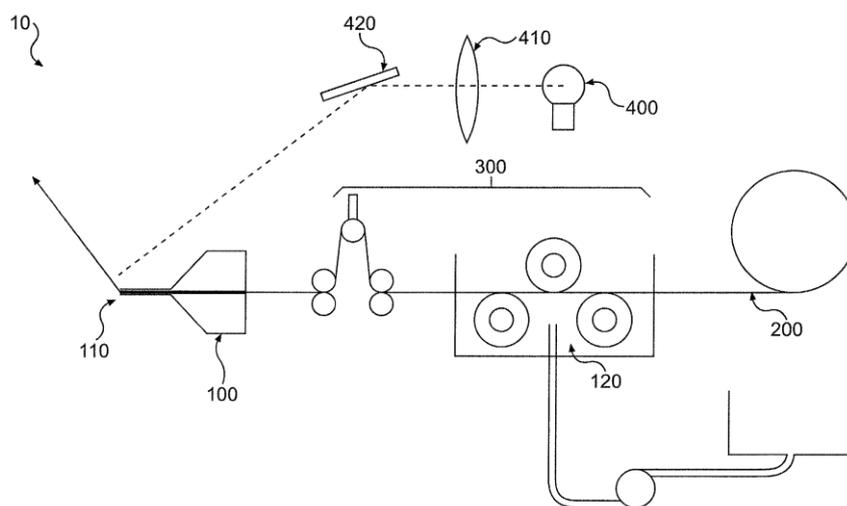


Рисунок 8 – Принципиальная схема установки для печати полимерными композитами с армирующей нитью

В данном процессе на волокно наносится фотоотверждаемый полимер, который поступает в печатающую головку, откуда он подается на основание для печати. Под действием источника света полимер отверждается и формирует 3D-модель.

Недавно, авторами патента предложена улучшенная конструкция сопла для печатающей головки. Ключевой особенностью дано конструкции является использование сопла прямоугольной формы для печати лентами из термопластичного материала. Как утверждаю авторы, использование сопла подобной конструкции позволяет сократить время отклика печатной головки,

увеличить объемные скорости истечения полимера из сопла, и, в целом, улучшить качество печати.

## **2 Объект и методы исследования**

В качестве объекта исследования было выбрано рабочее колесо погружного скважинного насоса ЭЦВ 8-25-100, предназначенного для перекачивания воды из артезианских скважин. Широкое применение они получили на водозаборных станциях и других предприятиях, где необходима подача воды из глубинных шахт, хотя насосы такого типа также применяются в газовой и нефтяной промышленности.

Рабочие колеса обладают сложной геометрической формой. Также в процессе эксплуатации подвержены воздействию центробежных сил и гидродинамических нагрузок. Поэтому в совокупности все эти факторы при проведении исследований работоспособности рабочих колес из пластика, напечатанных на 3D-принтере, позволят сделать вывод о применимости аддитивной технологии для изготовления различных деталей при ремонте насосного оборудования.

### **2.1 Технологии изготовления полимерных деталей**

Характерными особенностями большинства деталей машин являются: высокая энергонасыщенность, большая масса, многофункциональность и высокий уровень металлоемкости. Следствием перечисленных особенностей являются значительные экологические нагрузки в процессе эксплуатации техники, вызванные токсичными отработавшими газами и эксплуатационными материалами, повышенным давлением на грунт, электромагнитными полями, высоким уровнем шума, вибрации и др. Устранение перечисленных недостатков в значительной степени может быть достигнуто благодаря увеличению доли полимерных материалов, применяемых в машиностроительном производстве.

В настоящее время, в промышленно развитых странах производство изделий из полимерных материалов неуклонно растет, поскольку эти материалы позволяют добиться существенного улучшения качества и снижения веса изделий и конструкций, в том числе работающих в экстремальных

условиях, при одновременном увеличении их надежности и ресурса. Одним из важнейших условий конкурентоспособности полимерных материалов является оптимальное сочетание их технологичности в производстве и применении с высокими эксплуатационными характеристиками (прочностью, жесткостью, износостойкостью) и низкой стоимостью.

К основным способам получения деталей из полимеров относятся литье под давлением, прессование и экструзия.

Литье под давлением происходит на специальных машинах (термопластавтоматах), в которых расплавленную пластичную массу подают под поршневое давление от 50 до 250 МПа. А когда жидкость поступает в пресс-формы, то под действием охлаждения будущее изделие окончательно приобретает свою форму и необходимую прочность. Пресс-форма является одной из важных стадий такого производства, ведь от того, насколько качественно она была изготовлена, будет зависеть качество пластмассового литья и наличие дефектов на самих изделиях.

Прессование базируется на том, что гранулы полимера закладывают, а не заливают в пресс-форму, которую предварительно разогревают до 130-180 °С. Далее эти гранулы сжимают пуансонами с силой 10-1000 т. Под таким прессом пластмасса становится однородной массой, заполняет собой форму. Затем убираются пуансоны, а готовую деталь выталкивают наружу. Этот тип производства является более экономичным, чем технология литья.

Метод экструзии основан на непрерывном выдавливании разогретого до вязкотекучего состояния пластика через специальную головку на специальных горизонтальных червячных прессах (экструдерах). Этим способом изготавливают трубы, листы, стержни и различные профили.

Обладая высокой удельной прочностью, износостойкостью, устойчивостью к химическим воздействиям, возможностью различными модификациями полимеров варьировать свойства в широких пределах, полимеры занимают одно из ведущих мест среди конструкционных материалов для машиностроения. Целесообразность их применения определяется, прежде

всего, возможностью удешевления продукции. При этом улучшаются также важнейшие технико-экономические параметры машин: уменьшается масса, повышаются долговечность, надежность и др.

К материалам деталей фрикционных передач предъявляются следующие требования: повышенный коэффициент трения во избежание необходимости больших сил прижатия, достаточная прочность и износостойкость, достаточный модуль упругости во избежание увеличенной площадки контакта и повышенных потерь на трение. Созданы специальные фрикционные пластмассы с асбестовым или целлюлозным наполнителем, имеющие коэффициент трения по стали 0,5 и выше. Эти пластмассы принципиально улучшают работу фрикционных передач. [1]

Одним из вариантов снижения шумности работы цепных передач является применение пластмассовых цепных звездочек, позволяющих повысить скорость цепных передач по критерию шума на 30%. Для улучшения смазки шарниров цепей применяют самосмазывающиеся полимерные материалы.

Пластмассовые зубчатые колеса в обычных условиях не применяют для силовых передачах, а, как правило, используют для относительно слабонагруженных передач из условий борьбы с шумом, компенсации погрешностей и упругих деформаций при необходимости самосмазываемости или химической стойкости. Повышенная податливость зубьев пластмассовых колес благоприятствует их применению в консольных передачах (в частности с внутренним зацеплением), в которых может быть большая концентрация нагрузки, в многопоточных планетарных передачах без уравнительных устройств и т. д. [1]

Из пластмасс основном изготавливают подшипники тяжелых тихоходных машин, в которых не всегда обеспечивается жидкостное трение, что связано с низкими скоростями, повышенными местными давлениями из-за упругих деформаций или технологических погрешностей; подшипники, смазываемые рабочей средой, опорные подшипники гидравлических турбин, подшипники погружных насосов, подшипники некоторых пищевых машин;

подшипники, в которых невозможно жидкостное трение и должна быть обеспечена полная или частичная самосмазываемость; подшипники, используемые в вакуумной и космической технике; подшипники некоторых химических машин из-за опасности взрыва; подшипники ряда текстильных машин; подвеска автомобиля; шарниры рулевых тяг; подшипники вспомогательных валов.

Пластмассовые материалы в подшипниках качения используют для сепараторов и режущих тел качения. Пластмассовые сепараторы более технологичны, имеют меньшую массу, способны адсорбировать масло и поэтому имеют малый коэффициент трения и высокую износостойкость.

## **2.2 Способы ремонта полимерных деталей**

Способ ремонта деталей из пластика зависит от характера повреждения и самого материала.

Ремонт нагревом используется для устранения вмятин на термопласте. После постепенного прогрева деформированной, прикладывается механическое усилие до восстановления первоначальной формы изделия. [2]

Процесс склеивания основан на создании неразъемного соединения за счет адгезии клеящего состава к соединяемым деталям. Клеевые композиции (клеи) для ремонта пластмассовых деталей представляют в своем большинстве высокомолекулярные соединения, которые после затвердевания превращаются в полимерный материал.

Сварочный способ ремонта основан на получении неразъемного соединения фрагментов поврежденного участка путем их местного сплавления. Сварка – более прочный способ ремонта, чем склеивание, поэтому она предпочтительнее для изделий из термопластов.

## 2.3 Общие сведения о технологии 3D-печати

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Фактически, 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала. [4]

Таблицы 1 – Классификация методов 3D-печати

Метод	Технология	Исходные материалы
Экструзионный	Моделирование методом послойного наплавления	Термопластики (такие как полилактид (PLA), акрилонитрилбутадиенстирол (ABS) и др.)
Порошковый	Прямое лазерное спекание металлов	Практически любые металлические сплавы
	Электронно-лучевая плавка	Титановые сплавы, кобальтохромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий
	Выборочная лазерная плавка	Титановые сплавы, кобальтохромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий
	Выборочное тепловое спекание	Порошковые термопластики
	Выборочное лазерное спекание	Термопластики, металлические порошки, керамические порошки
Струйный	Струйная технология печати	Гипс, пластик, металлические порошки, песчаные смеси
Ламинирования	Изготовление объектов методом ламинирования	Листовой материал (бумага, металлическая фольга, пластиковая пленка)
Полимеризация	Стереолитография	Фотополимеры
	Цифровая светодиодная проекция	

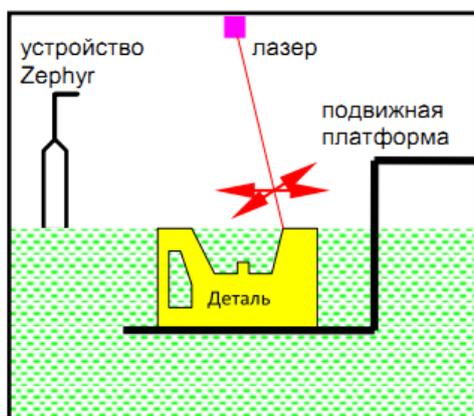
Среди большого количества существующих технологий 3D-печати, базовыми являются методы стереолитографии и послойного наплавления.

Термин «стереолитография» был придуман в 1986 Чарльзом В. Халлом, запатентовавшим метод и аппарат для производства твердых физических объектов за счет последовательного наслоения фотополимерного материала. Патент Халла описывал применение ультрафиолетового лазера, проецируемого

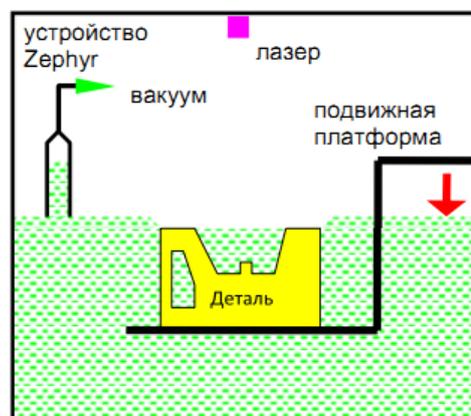
на поверхность емкости, заполненной жидким фотополимером. Облучение лазером ведет к затвердеванию материала в точках соприкосновения с лучом, что позволяет вычерчивать контуры заданной модели слой за слоем. В 1986 году Халл основал собственную компанию, 3D Systems, для коммерческого продвижения новой технологии. На сегодняшний день 3D Systems является одним из мировых лидеров среди компаний-разработчиков и поставщиков технологий аддитивного производства.

Метод основан на облучении жидкой фотополимерной смолы лазером для создания твердых физических моделей. Построение модели производится слой за слоем. Каждый слой вычерчивается лазером согласно данным, заложенным в трехмерной цифровой модели. Облучение лазером приводит к полимеризации (т. е. затвердеванию) материала в точках соприкосновения с лучом. [6]

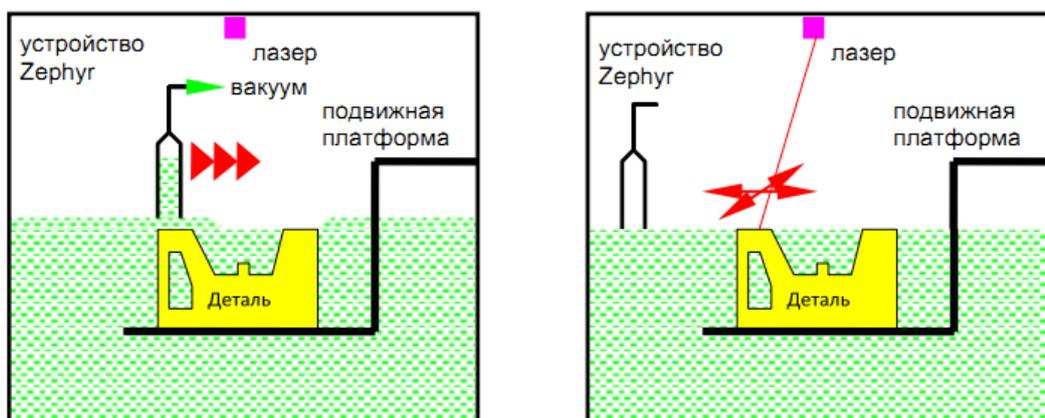
По завершении построения контура рабочая платформа погружается в бак с жидкой смолой на дистанцию, равную толщине одного слоя – как правило, от 0,05 мм до 0,15 мм. После выравнивания поверхности жидкого материала начинается процесс построения следующего слоя. Цикл повторяется до построения полной модели. После завершения постройки, изделия промываются для удаления остаточного материала и, при необходимости, подвергаются обработке в ультрафиолетовой печи до полного затвердевания фотополимера.



*На подвижную платформу наносится очень тонкий слой жидкого фотополимера. Лазерный луч, управляемый компьютерной программой, прорисовывает первый слой изделия на поверхности жидкости и в этих местах полимер затвердевает.*



*Платформа опускается на толщину очередного слоя.*



*Специальное устройство наносит и равномерно распределяет слой жидкого полимера по поверхности изделия.*

*Включается лазер, и формирует очередной твердый слой.*

## Рисунок 9 – Технология 3D-печати методом стереолитографии

Стереолитография требует использования поддерживающих структур для построения навесных элементов модели, аналогично технологии моделирования методом послойного наплавления (FDM). Опоры предусматриваются в файле, содержащем цифровую модель, и выполняются из того же фотополимерного материала. По сути, опоры являются временными элементами конструкции, удаляемыми вручную после завершения процесса изготовления.

Главным преимуществом стереолитографии можно считать высокую точность печати. Существующая технология позволяет наносить слои толщиной 15 микрон, что в несколько раз меньше толщины человеческого волоса. Точность изготовления достаточно высока для применения в производстве прототипов стоматологических протезов и ювелирных изделий. Скорость печати относительно высока, если учитывать высокое разрешение подобных устройств: время построения одной модели может составлять лишь нескольких часов, но в итоге зависит от размера модели и количества лазерных головок, используемых устройством одновременно. Относительно небольшие настольные устройства могут иметь область построения от 50 до 150 мм в одном измерении. В то же время существуют промышленные установки, способные печатать крупногабаритные модели, где изделия измеряются уже в метрах. Готовые изделия могут обладать различными механическими

свойствами в зависимости от заложенных характеристик фотополимера: существуют имитаторы твердых термопластиков, резины и других материалов.

Стереолитография позволяет создавать детали высокой сложности, но зачастую имеет высокую стоимость за счет относительно высокой цены расходных материалов. Один литр фотополимерной смолы может стоить от \$80 до \$120, в то время как стоимость устройств может варьироваться от \$10 000 до \$500 000.

В этой связи приобретает все большую популярность сравнительно недорогой метод послойного направления, технология которого была разработана Скоттом Трапом в конце 1980-х годов. Моделирование методом послойного наплавления (fused deposition modeling, сокращенно FDM) представляет собой технологию аддитивного производства, активно применяемую для создания трехмерных моделей и прототипирования, равно как и в промышленном производстве.

В FDM-технологии для формирования слоя модели пластиковая нить разматывается с катушки и скармливается в экструдер – устройство, оснащенное механическим приводом для подачи нити, нагревательным элементом для плавки материала и соплом с отверстием диаметра 0,15-1,5 мм, через которое осуществляется непосредственно экструзия. Нагревательный элемент служит для нагревания сопла, которое в свою очередь плавит пластиковую нить и подает расплавленный материал на строящуюся модель. Как правило, верхняя часть сопла наоборот охлаждается с помощью вентилятора для создания резкого градиента температур, необходимого для обеспечения плавной подачи материала. Выдавливаемый из сопла материал наплавляется на поверхность предыдущего слоя или рабочий стол, формируя при остывании цельный объект (рисунок 10). Создание необходимых контуров слоя и их заполнение осуществляется перемещением сопла относительно платформы в горизонтальной плоскости. Переход к следующему слою осуществляется опусканием рабочего стола или поднятием экструдера на толщину одного слоя. Процесс повторяется до формирования готовой модели.

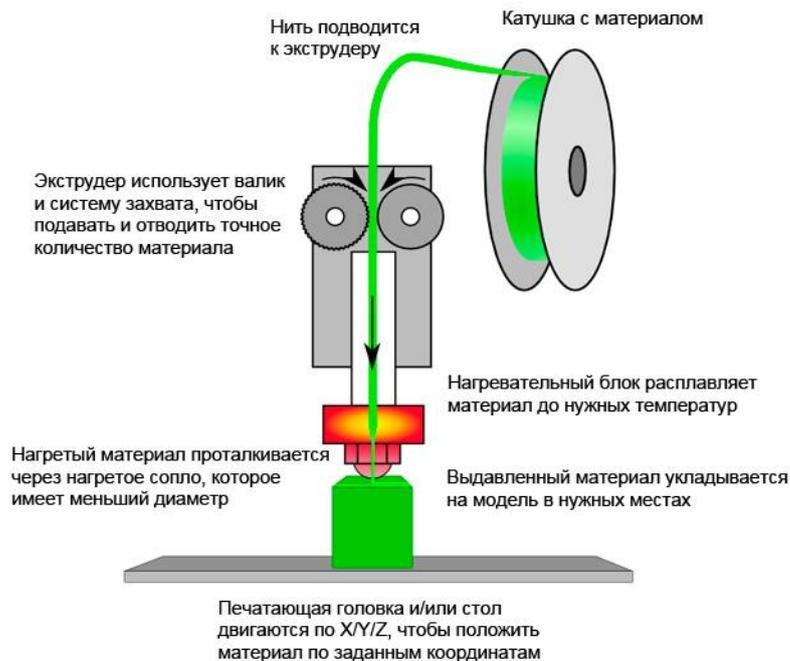


Рисунок 10 – Принцип работы FDM-принтера

В качестве расходных материалов для FDM-печати используются термопластичные материалы с температурой плавления от 50 до 300 °С. Наиболее распространенными материалами, применяемыми в FDM-принтерах, являются пластики, обладающие различными термическими и физическими свойствами: PLA – полилактид; ABS – акрилонитрилбутадиеностирол; HIPS – ударопрочный полистирол; PC – поликарбонат; нейлон; TPE – термопластичный эластомер; PET – полиэтилентерефталат. Помимо пластиков в качестве материалов для промышленной 3D-печати могут быть использованы легкоплавкие металлы, такие как олово.

Основными недостатками FDM-технологии являются:

- невысокая скорость печати 5-30 см<sup>3</sup>/ч, приводящая к большим временным затратам (более 10 ч) при печати объемных моделей;
- небольшая разрешающая способность печати как по горизонтали (0,2-1 мм), так и по вертикали (0,05-0,4 мм), что приводит к видимой слоистости модели;
- проблемы с фиксацией модели на рабочем столе;

- для печати нависающих участков модели необходимо формирование сложных и затратных поддерживающих конструкций.

Таким образом, моделям, изготовленным по технологии FDM, в большинстве случаев требуется постобработка, которую достаточно сложно автоматизировать.

Отметим проблему, связанную с термоусадкой модели, которая приводит к изменению размеров или даже деформации модели после остывания. Параметры термоусадки зависят от используемого материала, например, для ABS-пластика она составляет 1%, что усложняет процесс печати больших моделей.

## **2.4 Постпечатная обработка**

Одна из проблем, с которой встречаются при FDM 3D-печати, это ребристость внешних поверхностей. Так как сама технология основана на последовательном нанесении слоев пластика, этого эффекта не избежать. Можно, конечно, сделать его менее заметным за счет повышения вертикального разрешения принтера (т. е. нанесения более тонких слоев), но полностью избавиться от ребристости не получится.

Методы обработки готовых моделей с целью сглаживания поверхностей основаны на двух особенностях термопластиков: способности плавиться под воздействием высоких температур и размягчаться при контакте с соответствующими химикатами.

Наряду с повышенной эстетикой, немаловажным фактором в разработке методов сглаживания является повышенная прочность. Монолитная внешняя оболочка усиливает модели, предотвращая расслоение, и гарантирует их герметичность.

Как правило, термообработка не дает хороших результатов – регулировать нагревание поверхности достаточно сложно, а это приводит в итоге к вскипанию пластика, проседанию или просто выделению токсичных

паров. Тем не менее, этот метод можно попробовать на монолитных моделях из PLA-пластика.

Более многообещающей является химическая обработка, однако и она сопряжена с определенными сложностями. Кроме технологических проблем, актуальна проблема реагентов – разные пластики реагируют с разными растворителями.

Более перспективным и наиболее простым методом является погружение в ацетон. Выдержка модели из ABS-пластика в неразбавленном ацетоне около 10 секунд вполне достаточна для растворения внешнего слоя модели. Конкретное время выдержки может варьироваться в зависимости от качества исходной модели и концентрации ацетона. После выдержки модель необходимо выдержать на воздухе пока ацетон не испарится. Процесс может занять около получаса.

Хотя этот метод достаточно быстр, регулировать процесс сложно. При излишней выдержке модель просто начнет растворяться, быстро теряя мелкие черты. Кроме того, загрязнение ацетона пластиком одного цвета может привести к появлению разводов на последующих моделях, окунаемых в тот же раствор.

Более контролируемым процессом является обработка ацетоновыми парами. Этот метод требует помещения модели в тару с небольшим количеством ацетона на дне. Сама модель не должна соприкасаться с ацетоном, поэтому модель следует устанавливать на платформу, либо подвешивать над поверхностью растворителя.

После размещения модели емкость необходимо подогреть, чтобы повысить температуру ацетона. Ацетон испаряется и при комнатной температуре, но слишком медленно. Следует иметь в виду, что кипячение ацетона не рекомендуется, так как это будет способствовать накоплению конденсата на модели, который, в свою очередь, может вызвать образование разводов. Таким образом, для лучших результатов не стоит превышать температурный порог в 56 °С.

Время выдержки сильно варьируется в зависимости от температуры ацетона. Так, при кипячении может хватить лишь нескольких секунд, тогда как эксперименты при комнатной температуре требовали до 40 минут выдержки.

Как и в случае с обработкой погружением, готовую модель необходимо проветрить до затвердевания внешней поверхности, избегая лишнего физического контакта.

Как при погружении моделей в ацетон, так и при обработке парами следует учитывать толщину стенок моделей. Оболочка должна быть достаточно толстой, чтобы выдержать неминуемую потерю внешнего слоя. Кроме того, особенно тонкие черты могут просто раствориться, а острые углы будут сглажены.

Пескоструйная постпечатная обработка в отличие от других методов позволяет работать с любым материалом, к тому же процесс обработки простой. Этот способ предполагает управление оператором соплом, через которое на деталь распыляется мелкодисперсный материал. Процесс пескоструйной обработки оперативный – всего 10 минут, при этом деталь становится эстетичнее и аккуратнее. Суть метода в том, чтобы поместить готовую деталь в камеру, куда будет направляться поток мелких частиц. Они по мере воздействия будут обеспечивать гладкость поверхности 3D-детали.

## **2.5 Методы исследования**

Для исследования влияния центробежной силы на напряженно-деформированное состояние рабочего колеса погружного центробежного скважинного насоса в данном исследовании используется метод конечных элементов (МКЭ).

Данный метод является численной процедурой решения задач, сформулированных в виде дифференциального уравнения с частными производными, а также интегральными уравнениями, возникающими при решении задач прикладной физики. Компоненты решения в узлах являются степенями свободы. В качестве степеней свободы могут быть использованы как

узловые значения неизвестной функции, так и ее производные по пространственным координатам в узлах. Метод широко используется для решения задач гидродинамики, теплообмена, электродинамики, механики деформируемого твердого тела.

Процесс конечно-элементного анализа включает определенную последовательность шагов:

– Дискретизация области: построение сетки, задание материала элементов. Область, на которой решается задача, покрывается непересекающимися подобластями простого типа, которые называются конечными элементами. Множество элементов разбитой исследуемой области называется конечно-элементной сеткой (рисунок 11). Вершины конечных элементов являются узлами, которые предназначены для описания геометрии элемента. Компоненты решения в узле называются степенями свободы. В зависимости от рассматриваемых задач число степеней свободы в узле различно.

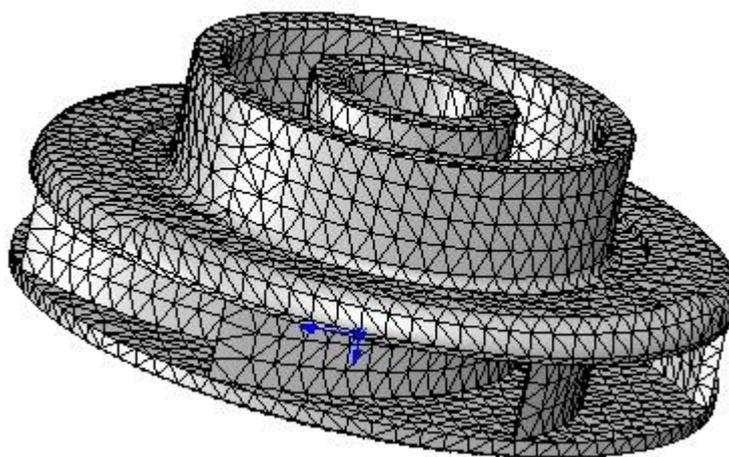


Рисунок 11 – Создание конечно-элементной сетки при прочностном расчете рабочего колеса

– Выбор базисных функций, которые чаще всего выбираются в виде полиномов, поэтому пространство, на котором ищется решение, является пространством кусочно-полиномиальных функций.

– Далее составляется система линейных алгебраических уравнений и вводятся граничные условия в систему уравнений.

- Осуществление решения системы уравнений.
- Определение в элементах расчетных параметров, которые являются производными от неизвестных функций (скорости, деформации и т.д.). [13]

Выбор типа, формы и размера конечного элемента зависит от вида напряжённно-деформированного состояния, формы и нагрузки исследуемого тела. Стержневой конечный элемент используется для моделирования одноосного напряжённного состояния при растяжении-сжатии, а также в задачах о кручении или изгибе. Плоский (двумерный) конечный элемент в виде треугольной или четырёхугольной пластины используется для моделирования плоского напряжённного или плоского деформированного состояния. Объёмный (трёхмерный) конечный элемент в виде тетраэдра или призмы служит для анализа объёмного напряжённного состояния. Конечный элемент в форме кольца применяется в случае осесимметричного напряжённного состояния. В тех зонах деформируемого тела, где ожидаются большие градиенты напряжений, нужно применять более мелкие конечные элементы или элементы большего порядка. [14]

Способ разбивки рассматриваемой области на конечные элементы, их число и число степеней свободы, а также вид аппроксимирующих функций в конечном итоге определяют точность расчета конструкции.

## **2.6 Используемые пакеты прикладных программ**

Для создания графического материала использовалась программа КОМПАС-3D.

КОМПАС-3D система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий, благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования.

Ключевой особенностью продукта является использование собственного математического ядра С3D и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН.

КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространенных форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет организовывать эффективный обмен данными со смежными организациями и заказчиками, использующими любые CAD / CAM / CAE-системы в работе. [15]

Для моделирования твердотельной модели рабочего колеса использовалась программа SolidWorks.

Базовые конфигурации SolidWorks применяются для разработки изделий любой степени сложности и назначения, включая сложные сборки, механизмы, оснастку, промышленные объекты, металлоконструкции, коммуникации, изделия из листового материала, электротехнику и пр.

Внедрение технологий SolidWorks позволяет обеспечить высокий уровень конкурентоспособности российских предприятий на мировом и внутреннем рынке, при этом обеспечивается:

- сокращение сроков разработки на 30-50%;
- сокращение затрат на этапе разработки изделия до 50%;
- сокращение количества ошибок на этапе проектирования на 60-90%;
- усиление эстетической привлекательности изделия;
- возможность разработки принципиально новых, инновационных изделий. [16]

Прочностной статический расчет и анализ напряженно-деформированного состояния рабочего колеса проделаны при помощи компонента программы SolidWorks Simulation.

Результаты аналитического расчета на прочность численными методами получены в программе Mathcad.

### 3 Расчеты и аналитика

#### 3.1 Статический прочностной анализ рабочего колеса методом конечных элементов

Для проведения прочностного расчета и оценки влияния центробежной силы на напряженно-деформированное состояние рабочего колеса, изготовленного при помощи технологии 3D-печати, проектируем 3D-модель в комплексной программе SolidWorks (рисунок 12).

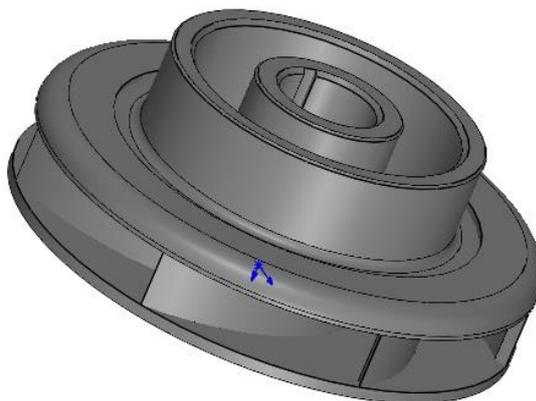


Рисунок 12 – 3D-модель рабочего колеса

В качестве материала задаем ABS-пластик, используемый при печати методом послойного наплавления. Далее разбиваем полученную 3D-модель рабочего колеса на тетраэдральную конечно-элементную сетку с заданной точностью разбиения относительно криволинейных поверхностей (рисунок 13).

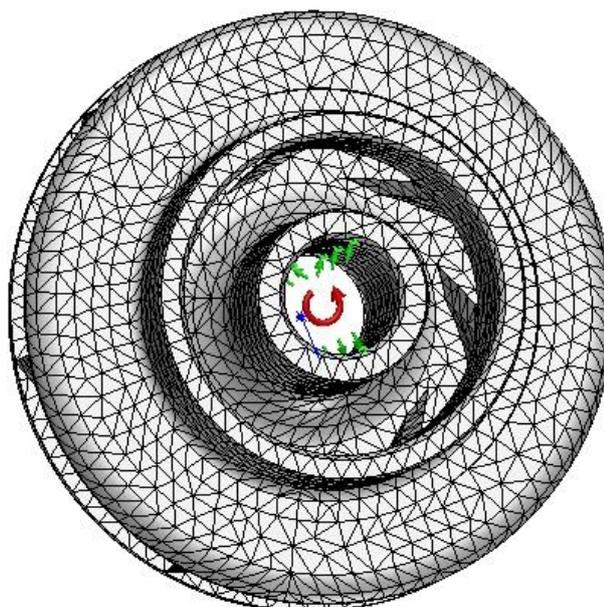


Рисунок 13 – Рабочее колесо, разбитое на тетраэдральную конечно-элементную сетку

Величина центробежной силы напрямую зависит от угловой скорости рабочего колеса. Для погружного скважинного насоса ЭЦВ 8-25-100 частота вращения равна 3000 об/мин. Следовательно, угловую скорость будет равна:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}; \quad (1)$$
$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Используя компонент SolidWorks Simulation, нагружаем рабочее колесо центробежной силой через найденное значение угловой скорости и выполняем статический прочностной расчет. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния приведены на рисунке 14.

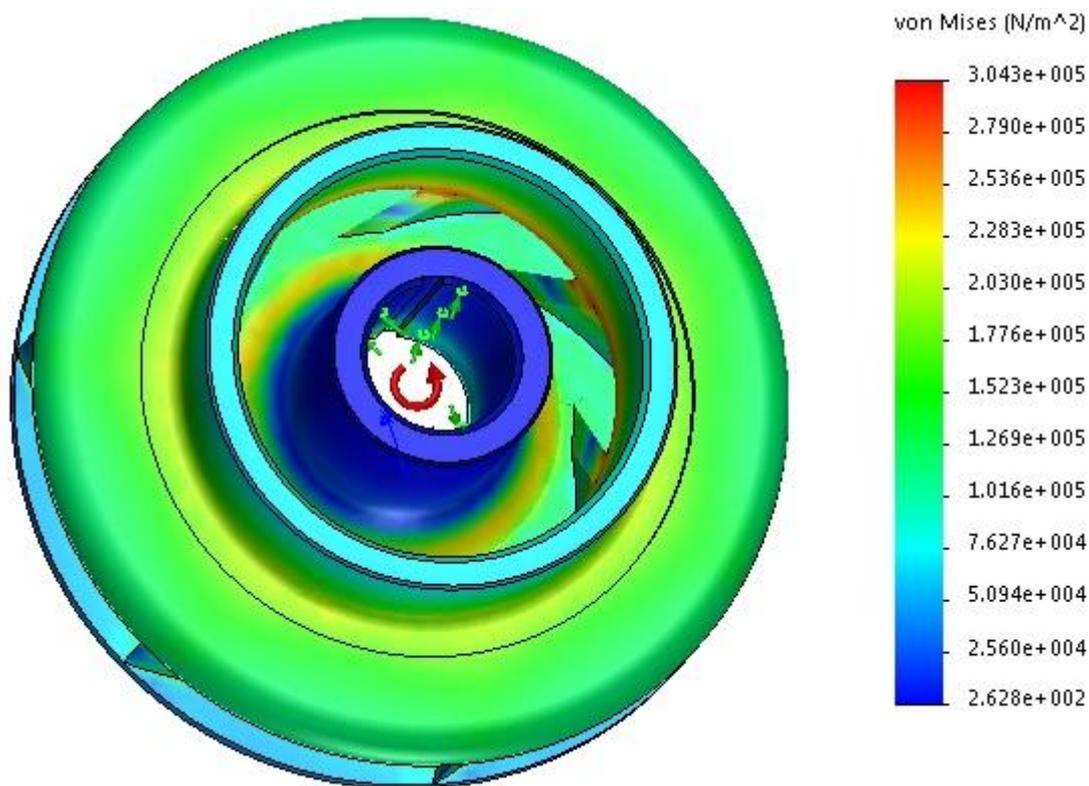


Рисунок 14 – Напряженно-деформированное состояние рабочего колеса из ABS-пластика

Сравним прочностные характеристики ABS-пластика и поликарбоната – материала, применяемого для изготовления рабочих колес при помощи технологии литья под давлением. Напряженно-деформированное состояние рабочих колес из поликарбоната приведено на рисунке 15.

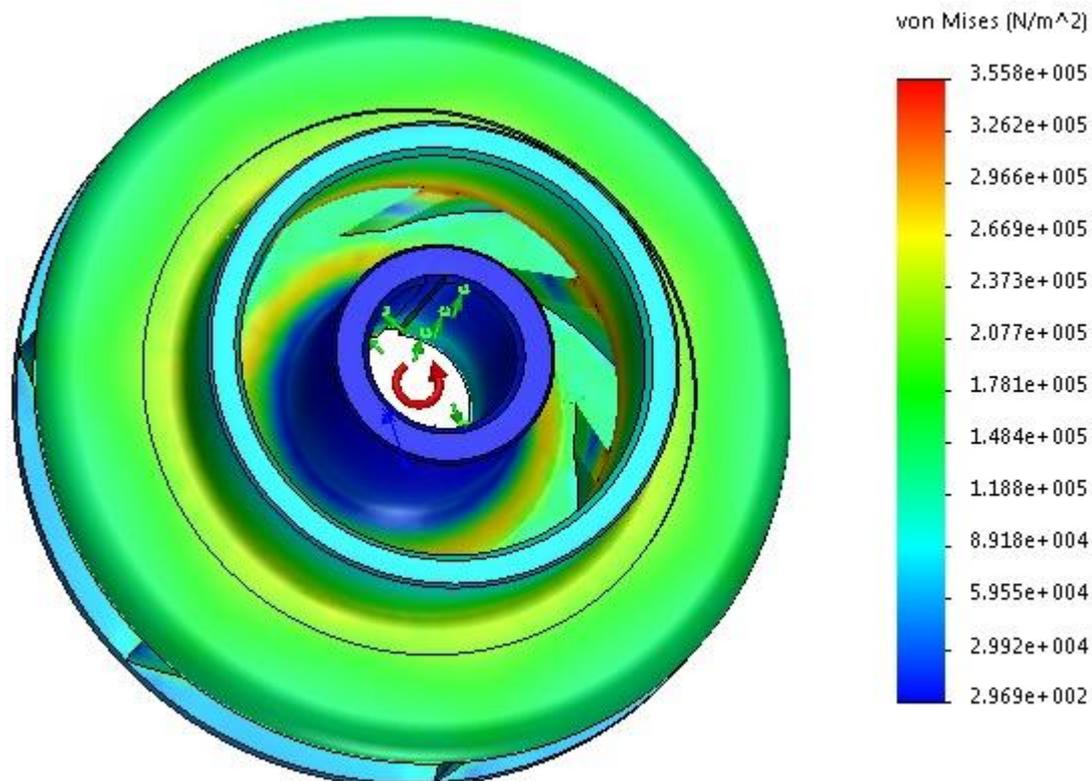


Рисунок 15 – Напряженно-деформированное состояние рабочего колеса из поликарбоната

В результате исследования напряженно-деформированного состояния рабочего колеса из ABS-пластика, можно сделать вывод о том, что полученные напряжения не превышают предела текучести выбранного материала. Для пластика:

$$\sigma_T = 0,9 \cdot \sigma_B, \quad (2)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести, МПа;

$\sigma_B$  – предел прочности материала на растяжение, МПа (для ABS-пластика  $\sigma_B = 30$  МПа).

$$\sigma_T = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ МПа.}$$

Также по прочности данные колеса незначительно отличаются от колес из поликарбоната, изготавливаемых литьем под давлением. При работе погружного скважинного насоса ЭЦВ 8-25-100 разрушения рабочих колес под действием центробежной силы происходить не будет. Следовательно, по прочностным характеристикам технология 3D-печати методом послойного наплавления применима для изготовления деталей из ABS-пластика.

### 3.2 Аналитический расчет на прочность рабочего колеса

Расчет на прочность рабочего колеса погружного центробежного скважинного насоса включает в себя расчет лопаток на растяжение от действия центробежных сил и расчет дисков. [16]

Расчет лопаток на растяжение заключается в определении напряжения, вызванного центробежной силой.

Для лопаток, имеющих постоянную площадь поперечного сечения, центробежная сила находится по формуле:

$$C = \rho \cdot \omega^2 \cdot F \cdot \frac{R^2 - r^2}{2}, \quad (3)$$

где  $R$  и  $r$  – наружный и внутренний радиус лопатки соответственно,  $m$  (рисунок 16);

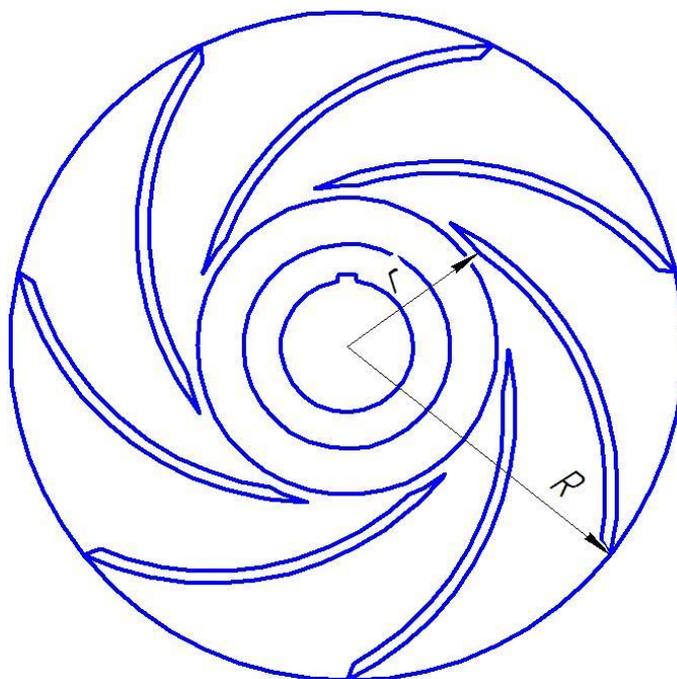


Рисунок 16 – Рабочее колесо

$\rho$  – плотность материала лопатки,  $кг/м^3$  ( $\rho = 1050$   $кг/м^3$  – для ABS-пластика);

$\omega$  – угловая скорость,  $рад/с$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения лопатки,  $м^2$  (рисунок 17).

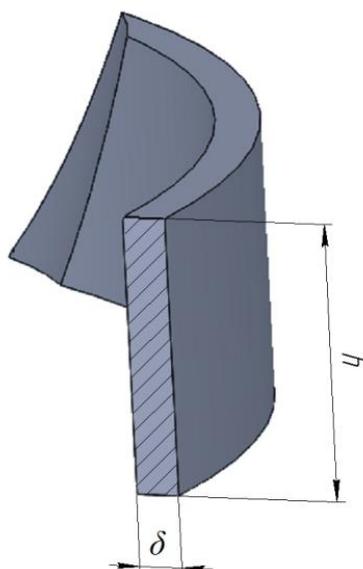


Рисунок 17 – Площадь поперечного сечения лопатки

Найдем площадь поперечного сечения лопатки рабочего колеса:

$$F = h \cdot \delta = 0,013 \cdot 0,002 = 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \quad (4)$$

$$F = 0,013 \cdot 0,002 = 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

где  $h$  – высота лопатки, м;

$\delta$  – ширина лопатки, м.

Следовательно, центробежная сила равна:

$$C = 1050 \cdot 314^2 \cdot 26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,056^2 - 0,027^2}{2} = 3,24 \text{ Н.}$$

Напряжение растяжения от центробежной силы определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (R^2 - r^2); \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot 1050 \cdot 314^2 \cdot (0,056^2 - 0,027^2) = 124,59 \text{ кПа.}$$

Расчет дисков заключается в нахождении напряжений от центробежных сил профильных частей лопаток:

$$\sigma_{rb} = \frac{z \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot h_b}, \quad (6)$$

где  $z$  – число лопаток;

$C$  – центробежная сила профильной части лопатки, Н;

$b$  – радиус диска, м;

$h_b$  – толщина диска, м.

Так как рабочее колесо погружного центробежного скважинного насоса имеет передний и задний диски, то под  $h_b$  понимают суммарную толщину всех дисков (рисунок 18):

$$h_b = h_{b1} + h_{b2}; \quad (7)$$

$$h_b = 0,006 + 0,0035 = 0,0095 \text{ м,}$$

где  $h_{b1}$  – толщина переднего диска, м;

$h_{b2}$  – толщина заднего диска, м.

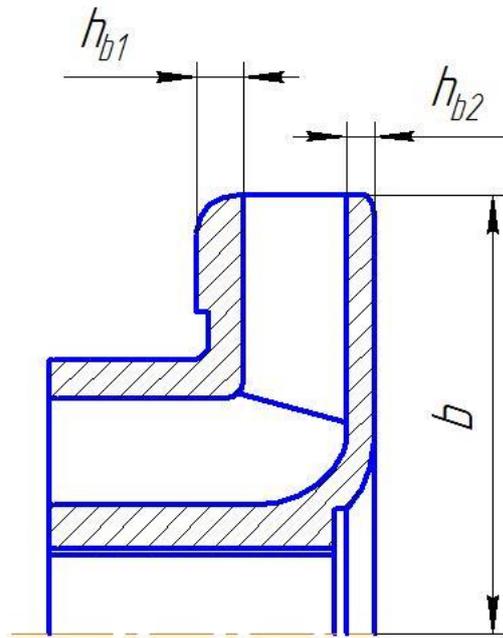


Рисунок 18 – Рабочее колесо

Напряжение от центробежных сил профильных частей лопаток равно:

$$\sigma_{rb} = \frac{7 \cdot 124,59}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,056 \cdot 0,0095} = 261,04 \text{ кПа.}$$

В результате аналитического расчета на прочность рабочего колеса погружного центробежного скважинного насоса, можно сделать вывод о том, что полученные значения напряжений от центробежной силы в лопатке и дисках не превышают предела текучести материала ABS-пластика, равного 27 МПа.

### 3.3 Испытание материалов для 3D-печати на растяжение (сжатие)

Для определения наиболее подходящего способа модификации полимерного материала, используемого для изготовления рабочих колес методом послойного наплавления, были проведены механические испытания на разрывную прочность групп образцов из ABS-пластика. Образцы были изготовлены различными способами – литьем под давлением (рисунок 19, а) в камере прессования и методом 3D-печати. Образцы полученные 3D-печатью, имели структуру, сформированную путем укладки стренг различными способами – вдоль направления приложения растягивающей нагрузки (продольное расположение стренг) (рисунок 19, б) и поперек направления нагружения (поперечное расположение стренг) (рисунок 19, в). Образцы изготавливались и испытывались в соответствии с ГОСТ 11262-80. Образцы подвергались растяжению со скоростью 5 мм/мин до полного разрушения на испытательной машине GotechAI-7000M. Результаты испытаний представлены на графике (рисунок 20). Кривая 1 соответствует средней прочности образцов, полученных литьем под давлением. Кривая 2 – образцы напечатанные на 3D-принтере с продольным расположением стренг, кривая 3 – образцы напечатанные на 3D-принтере с поперечным расположением стренг.

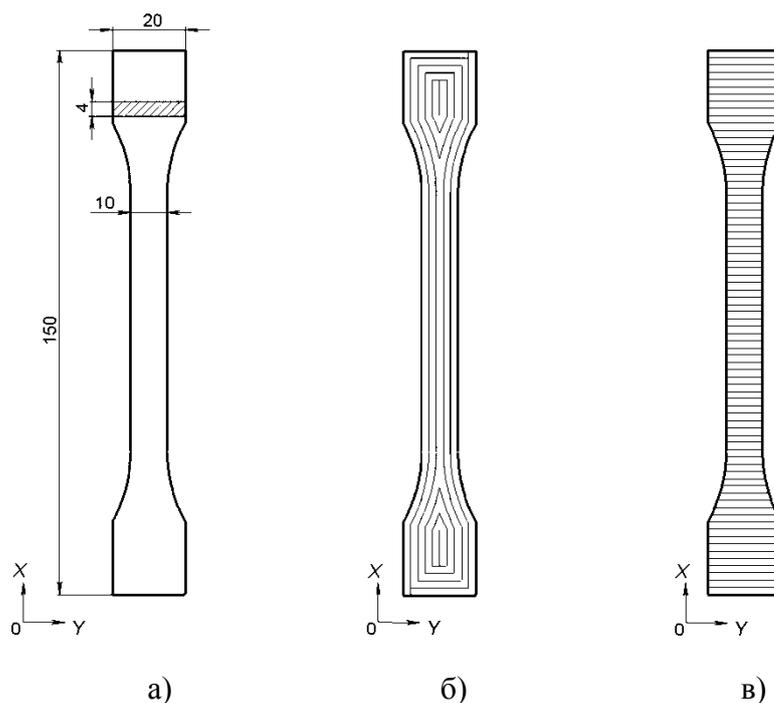


Рисунок 19 – Образцы для механических испытаний

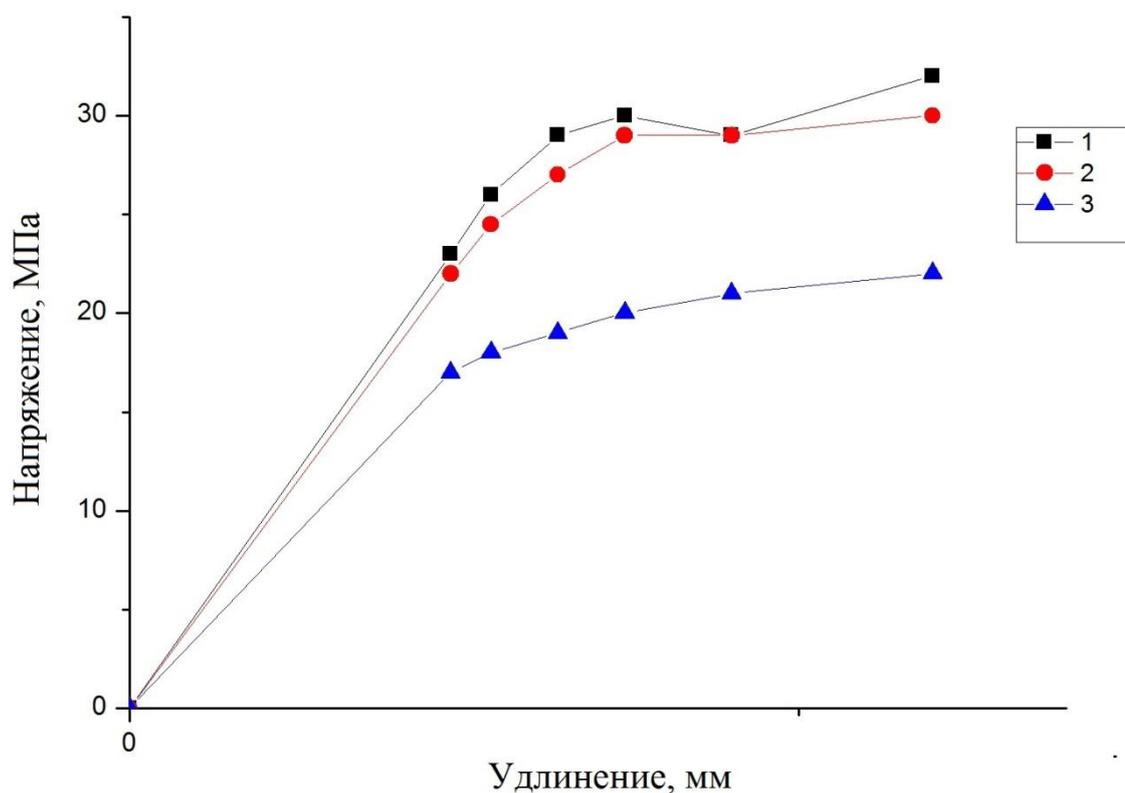


Рисунок 20 – Диаграмма напряжения-деформации при растяжении для образцов, полученных различными способами: 1 – литье под давлением, 2 – 3D-печать с направлением стренг параллельно прилагаемой нагрузки (продольное расположение), 3 – 3D-печать с направлением стренг перпендикулярно прилагаемой нагрузке (поперечное расположение)

Из графика видно что образцы полученные литьем и напечатанные образцы с продольным расположением стренг (вдоль оси  $X$ ) отличаются незначительно (не более 5%). Это падение прочности объясняется уменьшением площади поперечного сечения вследствие наличия в образцах межстренговых пустот и меньшей величиной давления в сопле 3D-принтере по сравнению с давлением в камере прессования. Образцы с поперечным расположением стренг (вдоль оси  $Y$ ) обладают меньшей прочностью (до 20%).

Для сравнения механических характеристик различных материалов, используемых при 3D-печати, были изготовлены и испытаны на растяжение образцы из поликарбоната (PC), полилактида (PLA) и полиамида (PA). Относительное удлинение и временное сопротивление (предел прочности)

материалов, полученные в результате испытаний на растяжение приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнение механических характеристик материалов для 3D-печати

Материал	Относительное удлинение $\delta$ , %	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа
ABS-пластик	50	30
Поликарбонат (PC)	30	49
Полилактид (PLA)	32	31
Полиамид (PA)	55	36

В результате сравнения механических характеристик различных материалов, используемых при 3D-печати, можно сделать вывод о том, что поликарбонат является наиболее прочным, но менее пластичным среди таких материалов, как ABS-пластик, полилактид и полиамид.

### 3.4 Исследование влияния шероховатости поверхности

Технология 3D-печати методом послойного наплавления, используемая для изготовления рабочих колес погружного центробежного скважинного насоса, основана на последовательном нанесении слоев расплавленной нити ABS-пластика. Вследствие чего возникает ребристость внешних поверхностных слоев из-за низкого разрешения принтера, которая является основным фактором повышенной шероховатости стенок. Таким образом, рабочим колесам, изготовленным по FDM-технологии требуется постпечатная обработка. Существующие способы постпечатной обработки были рассмотрены в пункте 2.4.

Шероховатость поверхности стенок оказывает значительное влияние на изменение гидродинамического спектра потока жидкости, что в свою очередь приводит к потерям напора и распределению скоростей.

Шероховатость определяется рядом факторов: материалом стенок; характером механической обработки, от чего зависят высота выступов шероховатости, их форма, густота и характер их размещения на поверхности; наличием или отсутствием ржавчины, коррозии, защитных покрытий, отложения осадков и т. д.

Коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$ , зависящий от вида течения жидкости, напрямую влияет на потери напора на трение (по формуле Дарси-Вейсбаха):

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (8)$$

При эксплуатации погружного центробежного скважинного насоса в рабочих колесах возникает турбулентное течение жидкости. Именно при больших значениях числа Рейнольдса шероховатость приобретает основную роль в образовании сопротивления.

При малых значениях числа Рейнольдса отдельные бугорки на поверхности стенки, составляющие шероховатость, полностью погружены в ламинарный слой. Движение жидкости в этом слое медленно и плавно; все бугорки и неровности стенки обтекаются без срывов потока и образования

вихрей (рисунок 21, а). Ламинарный слой играет при этом роль как бы смазки между поверхностью стенки и турбулентным «ядром» течения. По мере роста числа Рейнольдса ламинарный слой становится все тоньше и тоньше, а границы турбулентного «ядра» течения приближаются к стенкам трубы. При больших значениях числа Рейнольдса лишь основания бугорков находятся в ламинарном слое; их вершины обтекаются турбулентным потоком, причем обтекание сопровождается отрывом вихрей, которые уносятся течением жидкости (рисунок 21, б). [18]

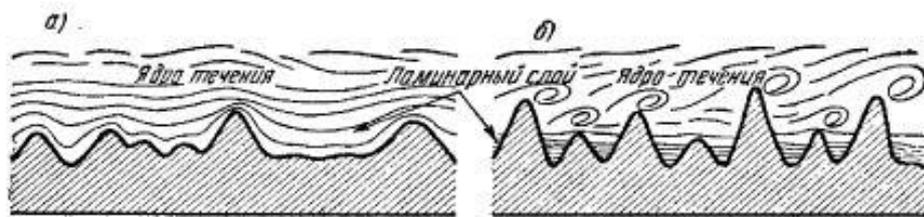


Рисунок 21 – Течение жидкости вблизи шероховатой стенки: а) при малых значениях числа Рейнольдса (бугорки погружены в ламинарный слой), б) при больших значениях числа Рейнольдса (вершины бугорков находятся в турбулентном «ядре» течения)

Вследствие срыва вихрей с вершин бугорков сопротивление трубы возрастает. Оно при этом является в основном сопротивлением от давлений, приложенных к бугоркам, изменяется по квадратичному закону и определяется уже не вязкостью, а величиной части бугорка, возвышающейся над ламинарным слоем, его формой и густотой расположения бугорков. Как бы малы ни были бугорки, всегда при достаточно большом числе Рейнольдса их вершины будут находиться все предельно ламинарного слоя, т. е. в турбулентном «ядре» течения. [18]

Логарифмический закон распределения скоростей заключается в том, что кривые распределения скоростей при тчении жидкости с одинаковыми потерями давления между гладкими пластинками и шероховатыми могут быть совмещены друг с другом. Это иллюстрируется на рисунке 22, на котором представлены профили распределения скоростей, построенные на основании экспериментальных данных Фрича. Эти профили одинаковы на всем почти

расстоянии между стенками, за исключением области, непосредственно прилегающей к стенкам, в которой градиент скорости для гладкой стенки значительно больше, чем для шероховатой. Таким образом, в области развитого турбулентного движения влияние шероховатости сводится лишь к смещению кривой распределения скоростей вдоль оси трубы.

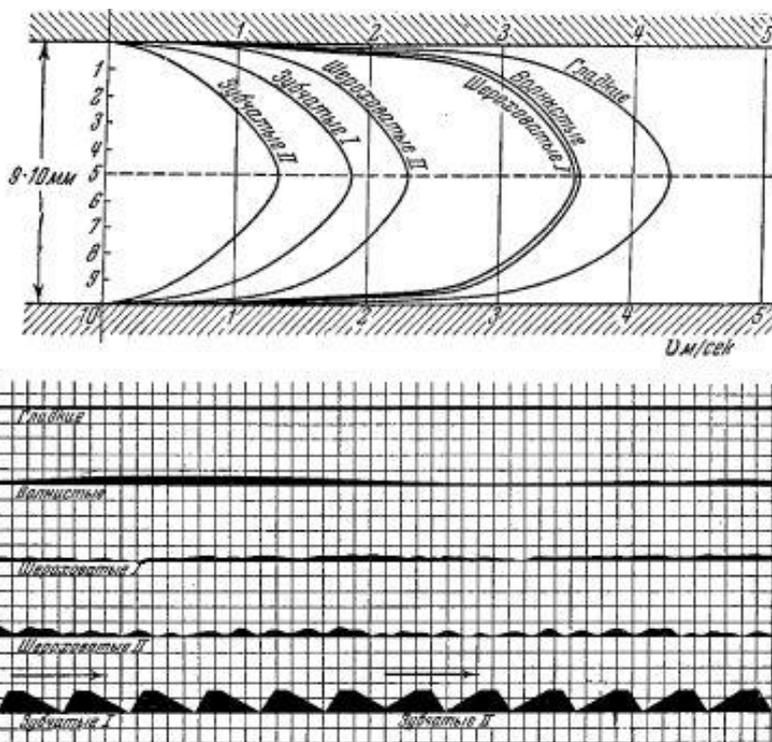


Рисунок 22 – Распределение скоростей при течении жидкости с одинаковыми потерями давления между гладкими пластинками и шероховатыми с разной степенью шероховатости (по опытам Фрича)

Из этого свойства профилей скоростей можно сделать вывод о том, что шероховатость влияет на распределение скоростей лишь в области, непосредственно прилегающей к стенке. Во всей же остальной области скорость движения не зависит (с точностью до постоянного для всего сечения слагаемого) от состояния стенки. Универсальный для всех шероховатостей логарифмический закон распределения скоростей плавно сопрягается на границах этой области с разными, для разных величин шероховатости, профилями скоростей в области, прилегающей к стенкам.

В ходе выполнения работы был проведен опыт по определению наиболее эффективного способа постпечатной обработки. Технологией

последнего наплавления были получены заготовки из ABS-пластика размером 10x50 мм.

Для сравнения качества поверхности, изготовленные образцы были подвержены химическому травлению парами ацетона, термическому нагреву, шлифованию и заглаживанию шпателем в процессе нанесения слоев ABS-пластика. Результаты проведенного опыта показаны на рисунке 23.

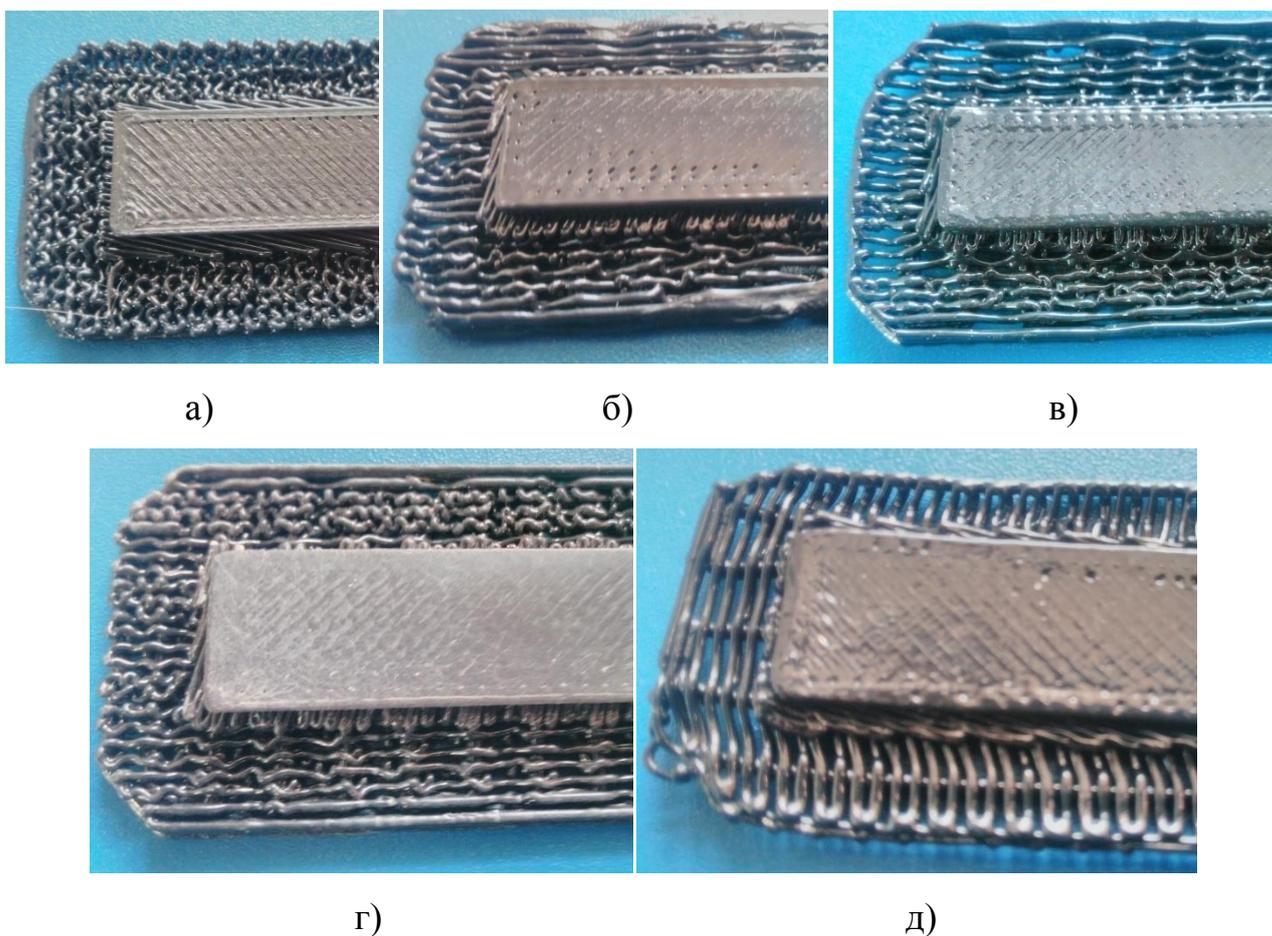


Рисунок 23 – Поверхности опытных образцов, получившиеся в результате постпечатной обработки: а) исходный образец; б) химическое травление; в) термообработка; г) шлифование; в) заглаживание шпателем

Далее были сделаны снимки поверхностей и краев обработанных напечатанных образцов с помощи микроскопа 220x MicroView при увеличении в 40 и 220 крат соответственно.

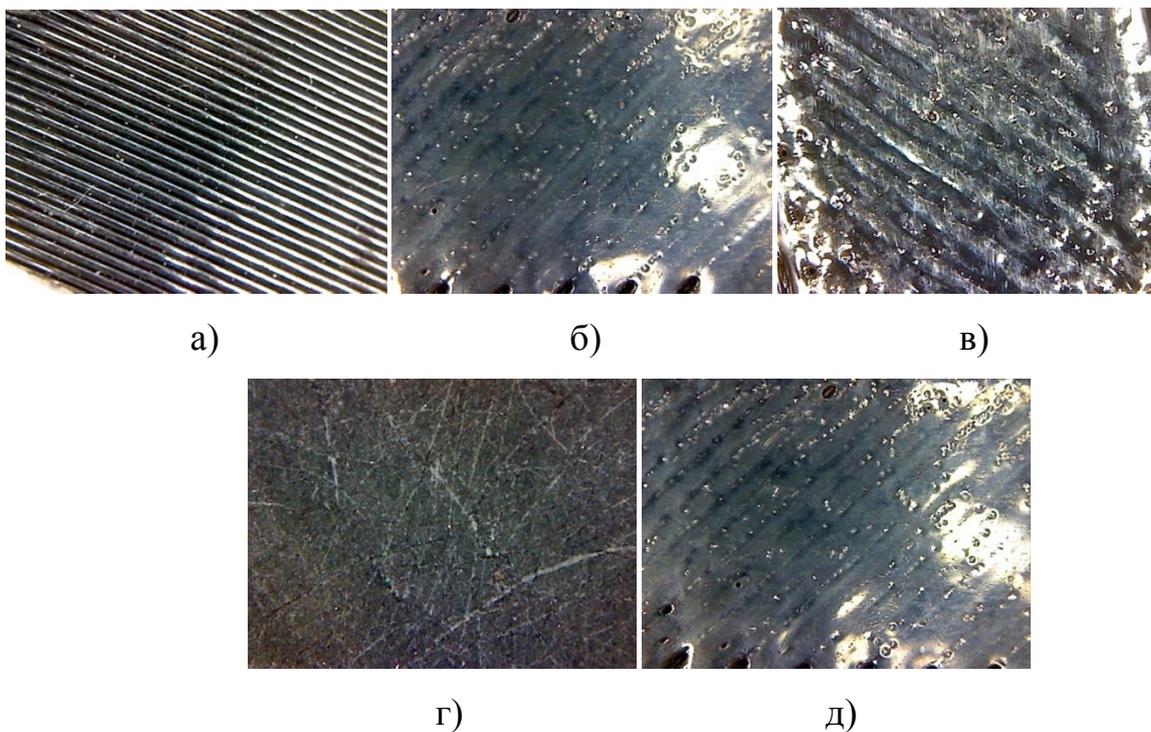


Рисунок 24 – Поверхности опытных образцов под увеличением микроскопа в 40 крат: а) исходный образец; б) химическое травление; в) термообработка; г) шлифование; в) заглаживание шпателем

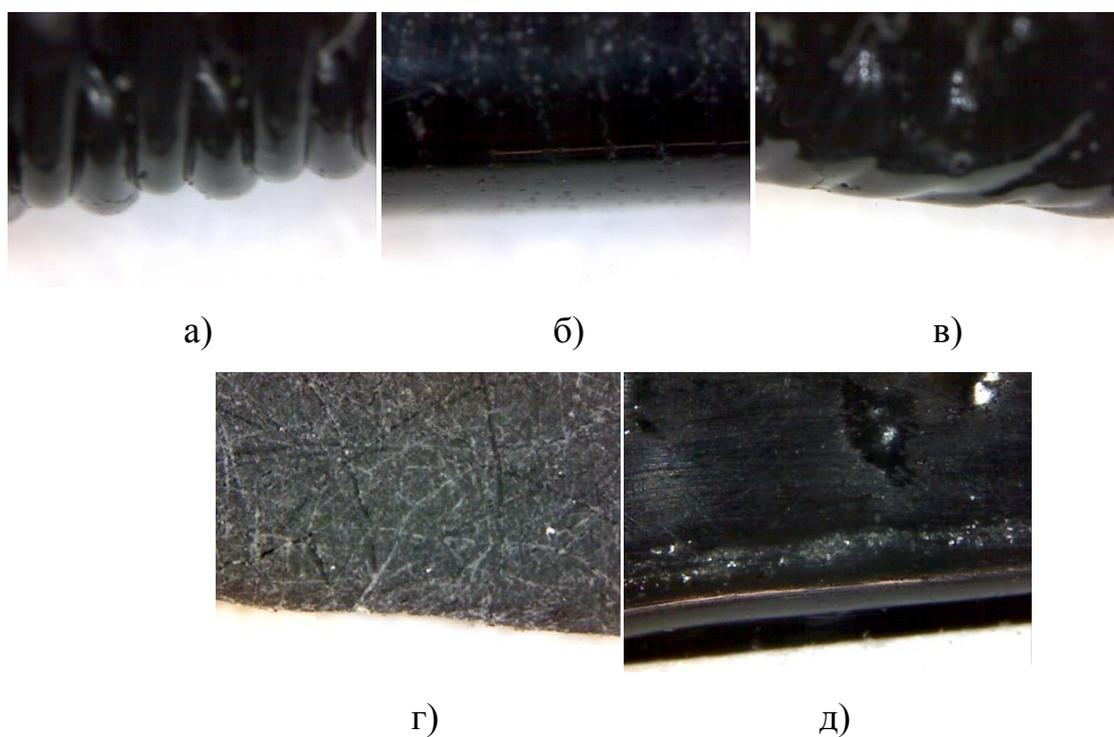


Рисунок 25 – Края поверхностей опытных образцов под увеличением микроскопа в 220 крат: а) исходный образец; б) химическое травление; в) термообработка; г) шлифование; в) заглаживание шпателем

В результате проведенного анализа качества поверхности образцов, изготовленных из ABS-пластика при помощи технологии 3D-печати методом послойного наплавления, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным способом постпечатной обработки является шлифование. Несмотря на это, использование данного метода для обработки рабочих колес в связи с их сложной геометрической формой является не всегда возможным. Химическое воздействие парами ацетона может применяться для обработки рабочих колес, но также имеет определенный недостаток, заключающийся в технологической сложности процесса, связанной с неконтролируемыми деформациями под действием химической агрессивной среды, приводящей к потере формы. В свете этих факторов механическое заглаживание является наиболее перспективным способом постпечатной обработки. Применение шпателя позволит повысить качество поверхности детали на стадии ее изготовления в результате непосредственного сглаживания только что нанесенных слоев нити расплавленного ABS-пластика.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Е31	Курнашову Сергею Игоревичу

<b>Институт</b>	<b>ИПР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТИМ</b>
Уровень образования	бакалавриат	Направление/профиль	15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. 2. Стоимость электроэнергии – 5,8 руб. кВт·ч – для юр. лиц.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Согласно российскому законодательству по оплате труда: 30% премии на заработную плату; 1,3 – районный коэффициент для г. Томска.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений (27,1% отчисления на социальные нужды).

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. 2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований. 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Расчет основной заработной платы исполнителей темы. 2. Расчет отчислений на социальные нужды. 3. Расчет электроэнергии и прочих расходов. 4. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, в том числе таблиц):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений.
2. Матрица SWOT.
3. Календарный график проведения НИ.
4. Бюджет проект.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 01.05.2017 г.

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антонова И.С.	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Курнашов Сергей Игоревич		

#### **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т. д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать научно-исследовательскую работу.

В данной работе рассмотрена применимость аддитивной технологии 3D-печати для изготовления рабочих колес центробежного скважинного насоса.

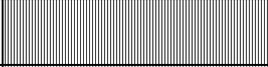
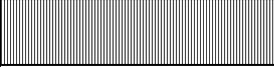
Результат проведенного исследования будет реализован в форме опытного образца рабочего колеса для погружного центробежного скважинного насоса, изготовленного при помощи технологии 3D-печати.

#### 4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

##### Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование (таблица 3).

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка

		Технология изготовления рабочих колес из пластика		
		Литье под давлением	Прессование	3D-печать
Центробежный насос для перекачки	Нефть			
	Вода			
	Другое			

 – «Электрогидромаш»;

 – «Машдеталь»;

 – «ТАСМО».

В результате сегментирования рынка по изготовлению рабочих колес для центробежных насосов, можно сделать вывод о том, что аддитивная технология 3D-печати не задействована в этой области. Следовательно, напечатанные колеса можно будет использовать в центробежных насосах для перекачки различных жидкостей.

##### Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки и т. д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Простота технологического процесса	0,12	5	3	3	0,60	0,36	0,36
2. Скорость изготовления	0,11	5	3	3	0,55	0,33	0,33
3. Надежность	0,14	4	5	5	0,56	0,70	0,70
4. Качество поверхности	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
5. Срок службы	0,12	4	5	5	0,48	0,60	0,60
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Стоимость оборудования	0,12	5	3	3	0,60	0,36	0,36
2. Стоимость расходного материала	0,1	5	4	4	0,50	0,40	0,40
3. Уровень проникновения на рынок	0,08	3	5	4	0,24	0,40	0,32
4. Себестоимость единицы продукции	0,1	5	4	4	0,50	0,40	0,40
<b>Итого:</b>	<b>1</b>	40	36	35	4,47	3,99	3,91

$B_{\Phi}$  – изготовление рабочих колес с использованием технологии 3D-печати;

$B_{K1}$  – изготовление рабочих колес при помощи литья под давлением;

$B_{K2}$  – изготовление рабочих колес методом прессования.

Исходя из составленной оценочной карты, рассчитаем коэффициенты конкурентоспособности приведенных технических решений:

$$k_1 = \frac{K_{\Phi}}{K_{K1}} = \frac{4,47}{3,99} = 1,12; \quad (9)$$

$$k_2 = \frac{K_{\Phi}}{K_{K2}} = \frac{4,47}{3,91} = 1,14. \quad (10)$$

В результате анализа существующих технологий изготовления рабочих колес из пластика, можно сделать вывод о том, что применение аддитивной технологии 3D-печати является целесообразным, так как по сравнению с литьем под давлением и прессованием обладает значительными преимуществами, такими как простота технологического процесса, быстрота изготовления деталей, низкая стоимость оборудования и расходного материала.

### **SWOT-анализ**

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

*Сильные стороны научно-исследовательского проекта:*

C1. Простота технологического процесса 3D-печати.

C2. Высокая скорость изготовления рабочих колес.

C3. Невысокая стоимость оборудования и расходного материала.

*Слабые стороны научно-исследовательского проекта:*

Сл1. Затраты на дополнительные исследования.

Сл2. Дополнительные затраты на постпечатную обработку.

*Возможности:*

В1. Появление дополнительного спроса.

В2. Прогнозируемый специалистами рост цен на нефть.

*Угрозы:*

У1. Широкое распространение конкурентных технологий.

У2. Развитие альтернативных нефти источников энергии.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 5, таблице 6, таблице 7, таблице 8.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	0	0	+
	B2	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: В1С3.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	+	-
	B2	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: В1Сл1.

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	-	+	+
	У2	0	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1С2С3.

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	-	-
	У2	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У2Сл1.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 9).

Таблица 9 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Простота технологического процесса 3D-печати.</p> <p>С2. Высокая скорость изготовления рабочих колес.</p> <p>С3. Невысокая стоимость оборудования и расходного материала.</p>	<p>Сл1. Затраты на дополнительные исследования.</p> <p>Сл2. Дополнительные затрат на постпечатную обработку.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Появление дополнительного спроса.</p> <p>В2. Прогнозируемый специалистами рост цен на нефть.</p>	<p>В1С3.</p> <p>1. Выбирается стратегия минимизации затрат для повышения привлекательности планируемого товара для потребителей.</p>	<p>В1Сл1.</p> <p>1. Положительный результат проведенных исследований по применимости напечатанных рабочих колес может стать причиной дополнительного спроса на данный продукт в связи с преимуществами технологии 3D-печати перед традиционными способами изготовления деталей.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Широкое распространение конкурентных технологий.</p> <p>У2. Развитие альтернативных нефти источников энергии.</p>	<p>У1С2С3.</p> <p>1. Позиционирование товара с точки зрения его сильных сторон.</p> <p>2. Использование преимуществ с целью повышения конкурентоспособности товара.</p>	<p>У2Сл1.</p> <p>1. Поиск и реализация проекта в сфере деятельности, отличной от нефтегазовой.</p>

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта, исполнитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	4	Проведение патентных исследований	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель
	6	Построение 3D-модели рабочего колеса и проведение расчетов	Исполнитель
Подготовка опытного образца	7	Изготовление опытного образца на 3D-принтере	Исполнитель

Обобщение и оценка	8	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, исполнитель
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, исполнитель

### Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т. к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожi}$  используется следующая формула

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (11)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (12)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### **Разработка графика проведения научного исследования**

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (13)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (14)$$

где  $T_{кал} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых} = 53$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 53 - 14} = 1,22. \quad (15)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблице 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель проекта	2	3
Календарное планирование работ по теме	1	3	1,8	Руководитель проекта, исполнитель	1	2
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	15
Проведение патентных исследований	3	6	4,2	Исполнитель	5	7
Проведение теоретических расчетов и обоснований	8	16	11,2	Исполнитель	12	15
Построение 3D-модели рабочего колеса и проведение расчетов	10	20	14	Исполнитель	14	18
Изготовление опытного образца на 3D-принтере	1	2	1,4	Исполнитель	2	3
Оценка результатов исследования	4	8	5,6	Руководитель проекта, исполнитель	3	4
Составление пояснительной записки	10	20	14	Руководитель проекта, исполнитель	7	9

На основе таблицы 11 строим план график, представленный в таблице 12.

Таблица 12 – Календарный план график проведения НИР по теме

№ раб.	Вид работ	Исполнители	T <sub>ки</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель			Май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение тех. задания	Р	3	■												
2	Календарное планирование работ по теме	Р, И	2	■	□											
3	Подбор и изучение материалов по теме	И	15		□	□										
4	Проведение патентных исследований	И	7				□									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	И	15					□	□							
6	Построение 3D-модели рабочего колеса и проведение расчетов	И	18							□	□					
7	Изготовление опытного образца на 3D-принтере	И	3									■	□			
8	Оценка результатов исследования	Р, И	4										■	□		
9	Составление пояснительной записки	Р, И	9											■	□	

■ - руководитель проекта (Р);

□ - исполнитель (И).

#### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### **Затраты на создание опытного образца**

*Затраты на создание опытного образца рабочего колеса:*

1. Стоимость ABS-пластика 1500 руб. за кг. Для изготовления опытного образца рабочего колеса необходимо 400 г. Итого: затраты на материал составили 600 руб.

2. Время изготовления рабочего колеса 4 часа. Стоимость аренды 3D-принтера: 400 руб. в час. Итого: 1600 руб.

3. Аренда помещения для изготовления опытного образца: 1500 руб.

Суммарные затраты на изготовление опытного образца рабочего колеса для погружного центробежного скважинного насоса составили 3700 руб.

### **Прочие расходы**

Таблица 13 – Прочие расходы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Ручка	Шт.	4	40	192
Бумага	Шт.	150	3	540
Карандаш	Шт.	3	20	72
Итого:				804

*Затраты на интернет-кафе:* стоимость тарифа 50 руб. в час. Общее время, проведенное в интернет-кафе за весь период выполнения работы, составило 100 часов. Итого: 5000 руб.

*Затраты на составление бизнес-плана проекта:* 25000 руб.

### **Основная заработная плата исполнителей темы**

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30% от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

№	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение тех. задания	Руководитель проекта	1,8	1346	2422
2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта, исполнитель	1,8	1920	3456
3	Подбор и изучение материалов по	Исполнитель	12	574	6888
4	Проведение патентных исследований	Исполнитель	4,2	574	2410
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель	11,2	574	6429
6	Построение 3D-модели рабочего колеса и проведение расчетов	Исполнитель	14	574	8036

7	Изготовление опытного образца на 3D- принтере	Исполнитель	1,4	574	804
8	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, исполнитель	5,6	1920	10752
9	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, исполнитель	14	1920	26880
Итого:					68077

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (16)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (17)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{44447 \cdot 10,4}{216} = 2140 \text{ руб.}, \quad (18)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 15).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель проекта	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные	53	53
- праздничные	26	26
Потери рабочего времени:		
- отпуск	58	72
- невыходы по болезни	12	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	216	204

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p; \quad (19)$$

$$Z_M = 26300 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 44447 \text{ руб.},$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т. е. 30 % от  $Z_{TC}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{TC}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_T$  и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{TC}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель проекта	26300	0,3	1,3	44447	2140	11	23540
Исполнитель	17000	0,3	1,3	28730	1465	51	74715
Итого $Z_{осн}$ :							98255

### **Дополнительная заработная плата исполнителей темы**

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т. д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}; \quad (20)$$

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 23540 = 2825 \text{ руб};$$

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 74715 = 8966 \text{ руб},$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

### **Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)**

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}); \quad (21)$$

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (23540 + 2825) = 7145 \text{ руб};$$

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (74715 + 8966) = 22678 \text{ руб},$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1

ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
	Исп. 1	
Руководитель проекта	23540	2825
Исполнитель	74715	8966
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
<b>Итого:</b>	29823	

#### Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	98255
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11791
3. Отчисления во внебюджетные фонды	29823
4. Затраты на создание опытного образца	3700
5. Прочие расходы	30804
6. Бюджет затрат НИИ	174373

#### 4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Ресурсоэффективности изготовления рабочих колес для погружного центробежного скважинного насоса при помощи аддитивной технологии 3D-печати рассмотрим в сравнении с традиционным способом получения деталей литьем под давлением.

1. Цена самого модернизированного FDM-принтера на рынке составляет от 400 до 500 тыс. руб., что в 10 раз дешевле литейной машины, стоимость которой достигает порядка 5 млн. руб. Разница в стоимости закупки оборудования составляет 4,5 млн. руб.

2. Затраты на обслуживание и ремонт оборудования представлены в таблице 18.

Таблица 19 – Затраты на обслуживание и ремонт оборудования для изготовления рабочих колес

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.	
		3D-печать	Литье под давлением
Плановый ремонт	С <sub>п.р.</sub>	10000	25000
Техническая проверка	С <sub>т.п.</sub>	5000	8000
Капитальный ремонт	С <sub>к.р.</sub>	30000	50000
Обслуживание дополнительного оборудования	С <sub>д.о.</sub>	6000	12000
Итого:		51000	95000

В результате, экономия на обслуживание и ремонт оборудования составляет 44000 руб. в год.

3. В отличие от 3D-печати, технология литья под давлением требует дополнительных затрат, заключающихся в необходимости применения специальной пресс-формы при изготовлении рабочих колес, стоимость которой достигает 11000 руб. Следовательно, экономия на изготовлении дополнительных приспособлений составляет 11000 руб.

4. Стоимость одного килограмма ABS-пластика, используемого для изготовления рабочих колес при помощи технологии 3D-печати, составляет 1500 рублей. В сравнении, цена поликарбоната на рынке достигает 3000 рублей за килограмм. Экономия средств на материал равна 1500 руб.

5. Масса 3D-принтера на 90 кг меньше оборудования для литья под давлением. Учитывая цену разгрузочно-погрузочных работ в 150 руб. за 10 кг груза, получим 1350 высвобожденных средств.

6. Для изготовления рабочего колеса погружного центробежного скважинного насоса при помощи технологии литья под давлением требуется порядка 30 часов. В свою очередь 3D-печать позволяет получить готовую деталь в среднем за 4-5 часов с той же затратой электроэнергии в 500 Вт · ч. При стоимости электроэнергии 5,8 руб. кВт · ч экономия затрат на изготовление одного рабочего колеса составляет 72,5 руб.

Суммарная экономия средств на изготовление пластиковых рабочих колес для погружного центробежного скважинного насоса при помощи аддитивной технологии 3D-печати приведена в таблице 20.

Таблица 20 – Ресурсоэффективность технологии 3D-печати

Технико-экономические показатели	Экономия средств, руб.
Стоимость оборудования	4500000
Затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования	44000
Затраты на дополнительные приспособления	11000
Затраты на материал	1500

Затраты разгрузочно-погрузочные работы	1350
Затраты на электроэнергию	72,5
Итого:	4557922,5

В ходе выполнения данной части выпускной квалификационной работы была проанализирована конкурентоспособность применения аддитивной технологии 3D-печати для изготовления рабочих колес погружного центробежного скважинного насоса, был произведен SWOT-анализ. Также был посчитан бюджет НИИ, равный 174373 руб., основная часть которого приходится на затраты по основной заработной плате исполнителей темы. В результате проведенного анализа технико-экономических показателей технологии 3D-печати и литья под давлением, экономия затрат по данному проекту при реализации для предприятия составит 4557922,5 руб.

Данный раздел выполнялся на основе рекомендаций [20].

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Е31	Курнашову Сергею Игоревичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы);</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу);</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Рабочее место – цех по ремонту оборудования. Оборудование: 3D-принтер. Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– химические испарения;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– повышенный уровень вибрации.</li> </ul> <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термические опасности;</li> <li>– пожароопасность;</li> <li>– электричество.</li> </ul> <p>Воздействие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– загрязнение атмосферы;</li> <li>– загрязнение литосферы.</li> </ul> <p>Возникновение чрезвычайных ситуаций:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– возникновение пожара;</li> <li>– поражение электрическим током.</li> </ul>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Физико-химическая природа вредного фактора:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– образование ядовитых паров стирола и акрилонитрила в следствие расплавления нити ABS-пластика;</li> <li>– повышенный уровень шума;</li> <li>– повышенный уровень вибрации.</li> </ul> <p>Действие фактора на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– раздражение слизистых оболочек и кожи;</li> <li>– изменение функции легких;</li> <li>– воспаление дыхательных путей;</li> <li>– изменение частоты сердечных сокращений, аритмии;</li> <li>– развитие атеросклероза, воспаления головного мозга;</li> <li>– сосудистые тромбогенные эффекты.</li> </ul> <p>ПДК в воздухе рабочей зоны:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– стирол 30 мг/м<sup>3</sup>;</li> <li>– акрилонитрил 0,5 мг/м<sup>3</sup>.</li> </ul> <p>Средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– приточно-вытяжная система вентиляции.</li> </ul> <p>Средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– изолирующий или фильтрующий</li> </ul>

	<p>противогаз;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– респиратора РПГ-67А;</li> <li>– резиновые перчатки.</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>Источник опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– нагрев сопла до температуры 210-260 °С;</li> <li>– нагрев рабочего стола до температуры 110 °С;</li> <li>– пожароопасность;</li> <li>– электричество.</li> </ul> <p>Результатом термического воздействия являются ожоги различной степени, в зависимости от температуры и времени контакта.</p> <p>Мера безопасности – ни при каких обстоятельствах не контактировать с указанными объектами. Работа с ними допускается только при полном отключении и остывании 3D-принтера.</p> <p>Причинами возникновения пожара при эксплуатации 3D-принтера являются неисправности печатающего устройства, короткие замыкания в результате нарушения токоведущих частей, оставленное без присмотра включенное оборудование на долгое время.</p> <p>В случае поражения электрическим током необходимо немедленно освободить пострадавшего от действия тока путем отключения электропитания, оказать ему первую доврачебную помощь, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды</li> </ul>	<p>Воздействие на атмосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбросы ядовитых паров химических веществ.</li> </ul> <p>Воздействие на литосферу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отходы ABS-пластика.</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>Возможные ЧС на объекте:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– поражение электрическим током;</li> <li>– возгорание оборудования.</li> </ul> <p>Наиболее типичной ЧС является возникновение пожара.</p> <p>Превентивной мерой по предупреждению данной чрезвычайной ситуации является тщательный контроль за техническим состоянием печатающего оборудования. Работа на 3D-принтере должна проводиться строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Помещение ремонтного цеха, где будет расположен 3D-принтер, должно быть оборудовано автоматической системой пожаротушения, включающей в себя установку пожарной сигнализации, оповещающей световыми индикаторами и звуковой сиреной. Для контроля технологического процесса 3D-печати необходимо установить систему видеонаблюдения, которая позволит в случае</p>

	<p>возникновения пожара в кратчайшие сроки принять меры по его предотвращению.</p> <p>Для тушения пожара в помещении имеется:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– автоматическая система пожаротушения (углекислотная);</li> <li>– противопожарный трубопровод с установкой гидрантов;</li> <li>– первичные средства пожаротушения.</li> </ul> <p>К первичным средствам пожаротушения относятся:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ручные огнетушители (ОУ-3, ОП-8);</li> <li>– оборудование пожарных щитов;</li> <li>– ящик с песком;</li> <li>– асбестовое полотно.</li> </ul>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>К самостоятельной работе на 3D-принтере допускаются лица, имеющие специальное образование или прошедшие обучение для работы с оборудованием, прошедшие инструктажи по технике безопасности, пожарной безопасности, стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда.</p> <p>К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.</p> <p>Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);</li> <li>– ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);</li> <li>– повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала:</b></p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	<p>01.05.2017 г.</p>
--	----------------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Ассистент кафедры</p>	<p>Невский Е.С.</p>			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4Е31</p>	<p>Курнашов Сергей Игоревич</p>		

## **5 Социальная ответственность**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена оценке применения аддитивной технологии 3D-печати для изготовления рабочих колес центробежного скважинного насоса. В связи с тем, что простои эксплуатации скважины, вызванные утратой работоспособности рабочих колес из-за поломки, износа или повреждения, вызывают значительные финансовые потери предприятия из-за упущенной прибыли, размеры которой могут быть соизмеримы со стоимостью нового оборудования, предполагается производить рабочие колеса с помощью 3D-принтера непосредственно на добывающем промысле. В связи с этим данный раздел ВКР посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при изготовлении и эксплуатации рабочих колес, полученных при помощи технологии 3D-печати.

В качестве персонала рассматривается слесарь по ремонту нефтепромыслового оборудования.

Рабочим местом слесаря-ремонтника является цех по ремонту оборудования.

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

### **5.1 Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов, вредного воздействия на окружающую среду**

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные факторы производства» основными вредными факторами производственной среды при изготовлении и эксплуатации рабочих колес центробежного скважинного насоса являются:

- химические испарения;
- повышенный уровень шума;
- повышенный уровень вибрации.

К опасным факторам относятся следующие:

- термические опасности;
- поражение электрическим током;
- пожароопасность.

Для изготовления рабочих колес центробежного насоса при помощи 3D-принтера применяется технология послойного наплавления. В основе метода лежит последовательное нанесение слоев расплавленного пластика, выдавливаемого через нагретое сопло экструдера.

Воздействие на окружающую среду оказывают ядовитые пары, образующиеся при нагреве пластика, а также твердые долго разлагающиеся пластиковые отходы, утилизируемые во время эксплуатации оборудования.

## **5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

В качестве материала, используемого для изготовления рабочих колес центробежного скважинного насоса методом 3D-печати послойного наплавления, применяется ABS-пластик.

ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) представляет собой непрозрачный термопластичный материал, изготовленный из мономеров акрилонитрила, 1,3-бутадиена и стирола. Твердый и прочный даже при низких температурах, он обладает хорошей стойкостью к теплу, химическим веществам и легко поддается обработке.

При печати вследствие разогревания полимера в сопле происходит его плавление и, соответственно, высвобождение из массива пластика некоторого количества остаточных мономеров в виде токсичных паров. Рабочая температура плавления ABS-пластика составляет от 210 до 260 °С.

Наиболее опасными веществами, содержащимися в ABS-пластике, являются стирол и акрилонитрил.

Стирол – бесцветная жидкость с резким запахом, практически нерастворима в воде. Относится ко второму классу опасности. Предельно допустимая концентрация (ПДК) рабочей зоны составляет 30 мг/м<sup>3</sup>.

При хронической интоксикации у рабочих бывают поражены центральная и периферическая нервная система, система кроветворения, пищеварительный тракт, нарушается азотисто-белковый, холестериновый и липидный обмен. Стирол проникает в организм в основном ингаляционным путём. При попадании на слизистые оболочки носа, глаз и глотки паров и аэрозоля стирол вызывает их раздражение.

Акрилонитрил – летучая бесцветная жидкость с характерным запахом миндаля, относящаяся к категории сильнодействующих ядовитых веществ. Вещество, способное вызывать аллергические заболевания в производственных условиях. ПДК в воздухе рабочей зоны составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

Акрилонитрил также относится к химическим веществам второго класса опасности. Он необратимо связывается с белками РНК и ДНК различных тканей. Ядовитые пары опасны при вдыхании: вызывают раздражение слизистых оболочек и кожи, приводят к изменению функций легких, воспалению дыхательных путей, изменению частоты сердечных сокращений, аритмии, являются причиной развития атеросклероза, воспаления головного мозга, а также сосудистых тромбогенных эффектов.

Для снижения вредного воздействия ядовитых паров на организм человека необходимо применение индивидуальных средств защиты, а именно изолирующего или фильтрующего противогаза, респиратора РПГ-67А. Также 3D-принтер должен находиться в хорошо проветриваемом помещении, для обмена воздуха в котором используется система приточно-вытяжной вентиляции.

В сравнении с традиционным способом изготовления рабочих колес при помощи литья под давлением, полученные технологией 3D-печати рабочие колеса имеют более высокую шероховатость поверхности. Это непосредственно оказывает большое влияние на снижение гидродинамических

характеристик рабочих колес, что в свою очередь приводит к повышению уровня шума и возникновению дополнительных вибраций центробежного скважинного насоса.

Для уменьшения шероховатости поверхности рабочих колес до требуемого значения необходима постпечатная обработка. Наиболее эффективным является химический способ обработки парами ацетона.

### **5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

Источником термических опасностей, помимо нагрева сопла до температуры плавления нити ABS-пластика, также является высокая температура рабочего стола, необходимая для обеспечения надежного сцепления (адгезии) печатаемой модели с платформой. Для того, чтобы края печатающейся детали не отрывались от стола, и в последствии вся деталь не была сорвана с места, необходимо использовать подогрев рабочего стола до 110 °С.

Результатом термического воздействия являются ожоги различной степени, в зависимости от температуры и времени контакта.

Мера безопасности – ни при каких обстоятельствах не контактировать с объектами, указанными выше. Работа с ними допускается только при полном отключении и остывании 3D-принтера.

Также существует возможность возникновения пожара при эксплуатации 3D-принтера, основными причинами которого являются неисправности печатающего устройства, короткие замыкания в результате нарушения токоведущих частей, оставленное без присмотра включенное оборудование на долгое время.

3D-принтер – оборудование, подключаемое к электрической сети. Поэтому возможность поражения электрическим током является опасным фактором, действующим на человека. Причиной тому служит технически неисправное состояние печатающего оборудования.

В случае поражения электрическим током необходимо немедленно освободить пострадавшего от действия тока путем отключения электропитания, оказать ему первую доврачебную помощь, при необходимости отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

#### **5.4 Охрана окружающей среды**

Несмотря на постоянные улучшения, 3D-технологии для печати еще нельзя назвать экологически чистыми. 3D-печать требует большого количества энергии независимо от того, на каком сырье он работает. В сравнении с традиционной технологией изготовления рабочих колес при помощи литья под давлением 3D-технология для производства объекта одной и той же массы затрачивает в 50-100 раз больше энергии.

ABS-пластик – материал, используемый при 3D-печати методом послойного наплавления для изготовления рабочих колес центробежного насоса. Его использование негативно влияет на окружающую среду, в частности на атмосферу и литосферу.

Прежде чем начать изготавливать рабочие колеса, необходимо добыть сырье, переработать его для того, чтобы в конечном счете получить расходный материал ABS-пластик для печати на 3D-принтере. Все это в сумме оказывает огромное влияние на литосферу. Если говорить об остатках материала при производстве, то литье под давлением практически не оставляет остатков пластика. 3D-принтеры, используемые в качестве сырья расплавленные полимеры, оставляют значительно больше отходов. Также в процессе эксплуатации центробежных скважинных насосов необходимо утилизировать вышедшие из строя рабочие колеса, в связи с их износом и поломкой. Иногда пластиковые производственные отходы можно использовать повторно после переплавки, но чаще всего они не пригодны к повторному применению. Спасти ситуацию может биоразлагаемый пластик – он уже используется в некоторых моделях.

## 5.5 Защита в чрезвычайных ситуациях

Наиболее типичной чрезвычайной ситуацией на объекте является возникновение пожара, причиной которого в основном является неисправность 3D-принтера.

Превентивной мерой по предупреждению данной чрезвычайной ситуации является тщательный контроль за техническим состоянием печатающего оборудования. Работа на 3D-принтере должна проводиться строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

При возникновении неисправности в работе 3D-принтера, искрении, запаха гари, нарушении изоляции проводов необходимо прекратить работу, выключить питание и сообщить об аварийной ситуации главному механику.

В случае короткого замыкания и возгорания оборудования, немедленно отключить питание и принять меры по тушению очага возгорания при помощи первичных средств пожаротушения.

Помещение ремонтного цеха, где будет расположен 3D-принтер, должно быть оборудовано автоматической системой пожаротушения, включающей в себя установку пожарной сигнализации, оповещающей световыми индикаторами и звуковой сиреной. Сигнал также должен приходиться на пульт оператора. Для контроля технологического процесса 3D-печати необходимо установить систему видеонаблюдения, которая позволит в случае возникновения пожара в кратчайшие сроки принять меры по его предотвращению.

Для тушения пожара в помещении имеется:

- автоматическая система пожаротушения (углекислотная);
- противопожарный трубопровод с установкой гидрантов;
- первичные средства пожаротушения.

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- ручные огнетушители (ОУ-3, ОП-8);
- оборудование пожарных щитов;
- ящик с песком;

– асбестовое полотно.

Первичные средства пожаротушения размещаются в легкодоступных местах и не должны быть помехой при эвакуации персонала из помещений.

Запрещается использование пожарного инвентаря и других средств пожаротушения для иных нужд, кроме тушения пожаров и обучения персонала.

Использованные или неисправные огнетушители должны быть немедленно убраны из защищаемого помещения и заменены исправными.

Для размещения первичных средств пожаротушения в производственных помещениях, а также на территории предприятий, как правило, должны устанавливаться специальные пожарные щиты. Они предназначены для концентрации и размещения в определенном месте ручных огнетушителей, пожарного инвентаря и инструмента, применяемого при ликвидации загораний. Дверцы щитов опломбировываются и должны открываться без ключа и больших усилий.

## **5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

3D-принтер является сложным высокотехнологичным устройством. Поэтому к самостоятельной работе на 3D-принтере допускаются лица, имеющие специальное образование или прошедшие обучение для работы с оборудованием, прошедшие инструктажи по технике безопасности, пожарной безопасности, стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда.

К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.

Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда; руководителей и специалистов, лиц, ответственных за безопасную эксплуатацию и ведение технического надзора, а также лиц, допускаемых к

выполнению работ на 3D-принтере, должно проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию.

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации.

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);

2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);

3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

## **Заключение**

В ходе выполнения бакалаврской работы на основе проведенного статического прочностного расчета и оценке влияние центробежной силы на напряженно-деформированное состояние рабочего колеса (полученные напряжения не превышают предела текучести материала ABS-пластика, равного 27 МПа), изготовленного при помощи технологии 3D-печати, можно сделать вывод о том, что при работе погружного скважинного насоса ЭЦВ 8-25-100 разрушения рабочих колес под действием центробежной силы происходить не будет. Следовательно, по прочностным характеристикам технология 3D-печати методом послойного наплавления применима для изготовления различных деталей из ABS-пластика при ремонте оборудования.

При сравнении механических характеристик различных материалов, используемых при 3D-печати, был сделан вывод о том, что поликарбонат является наиболее прочным, но менее пластичным среди таких материалов, как ABS-пластик, полилактид и полиамид.

Также в результате проведенного анализа качества поверхности образцов, изготовленных из ABS-пластика при помощи технологии 3D-печати послойным наплавлением, можно сказать о том, что наиболее эффективным способом постпечатной обработки является шлифование. Несмотря на это, использование данного метода для обработки рабочих колес в связи с их сложной геометрической формой является не всегда возможным. Химическое воздействие парами ацетона может применяться для обработки рабочих колес, но также имеет определенный недостаток, заключающийся в технологической сложности процесса, связанной с неконтролируемыми деформациями под действием химической агрессивной среды, приводящей к потере формы. В свете этих факторов механическое заглаживание является наиболее перспективным способом постпечатной обработки. Применение шпателя позволит повысить качество поверхности детали на стадии ее изготовления в результате непосредственного сглаживания только что нанесенных слоев нити расплавленного ABS-пластика.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен SWOT-анализ проекта с определением его сильных и слабых сторон, а также с определением угроз и возможностей при его осуществлении. Для научно-исследовательского проекта был определен бюджет затрат, а также посчитана ресурсоэффективность.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ возможных вредных факторов (например, ядовитые химические испарения пластика). В качестве опасных факторов выявлены термические опасности, поражение электрическим током, пожароопасность. Чрезвычайная ситуация определена в виде возможности возникновения пожара во время эксплуатации 3D-принтера.

## Список использованных источников

1. Детали машин из пластмасс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://abc.vvsu.ru/books/1\\_osnrab/page0015.asp](https://abc.vvsu.ru/books/1_osnrab/page0015.asp) (дата обращения: 22.03.2017).
2. Ремонт пластмассовых деталей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://car-vik.narod.ru/master/plastic.htm> (дата обращения: 28.03.2017).
3. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М. : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
4. Энциклопедия 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru/wiki/> (дата обращения: 10.04.2017).
5. Шатульский А.А., Шаповалова М.А. Применение методов прототипирования для изготовления изделий машиностроения // Science intensive technologies in mechanical engineering. – 2011. – № 1. – С. 24-29.
6. Литунов, С.Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Ч. 1 / С.Н. Литунов, В.С. Слободенюк, Д.В. Мельников // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2016. – 1 (145). – С. 12–17.
7. Шорстова Е.С. Современное развитие аддитивного производства фибробетонов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10-1. – С. 18-21.
8. Моделирование методом наплавления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://can-touch.ru/blog/fused-deposition-modeling> (дата обращения: 15.04.2017).
9. Коваленко Р.В. Современные полимерные материалы и технологии 3D печати / Р.В. Коваленко // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 1. – С. 263-266.
10. Материалы для 3D печати: ABS-пластик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foroffice.ru/articles/73602/> (дата обращения 12.04.2017).

11. Технологии 3D-печати «Принципы, возможности, расходные материалы, цены» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ixbt.com/printer/3d/3d\\_tech.shtml](http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml) (дата обращения 16.04.2017).
12. Сагдеева Ю.А., Копысов С.П., Новиков А.К. Введение в метод конечных элементов: метод. пособие. Ижевск: Удмуртский университет, 2011. – 44 с.
13. Постпечатная обработка 3D-моделей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dprinterspb.ru/blog/94-postpechatnaya-obrabotka-3d-modelej> (дата обращения: 20.04.2017).
14. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твёрдого тела: Учеб. пособие / В.Г. Фокин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 131 с.: ил.
15. Знакомство с системой трехмерного моделирования КОМПАС-3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kompas.ru/kompas-3d/about/> (дата обращения: 25.04.2017).
16. Концепция SolidWorks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solidworks.ru/industry-solutions/concept-solidworks/> (дата обращения: 25.04.2017).
17. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочное пособие / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – Москва: Машиностроение, 1966. – 616 с.
18. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика. Общий курс. Часть первая / Н.Я. Фабрикант. – Ленинград: ГИЗТТЛ, 1949. – 628 с.
19. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика: учебное пособие для вузов / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. – М: Стройиздат, 1987. – 414 с.
20. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.