

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии
машиностроительного производства»

Нурланов Ансар Рустемович

CAD/CAE технологии проектирования деталей оболочной формы

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии
машиностроительного производства»



ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
СМИТМИ PhD, ассоц.проф.
Арымбеков Б.С.
« 30 » 04 2019г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «CAD/CAE технология проектирование детали оболочной формы»

по специальности: 5B071200 - Машиностроение

Выполнил

Нурланов А.Р.

Рецензент
Доктор Phd.

Научный руководитель

(должность, уч. степень, звание)

Удербаета А.Е.

ассоциированный профессор

(должность, уч. степень, звание)

Исаметова М.Е.

(подпись)

Ф.И.О

« 30 »

04

2019г.

(подпись)

Ф.И.О

« 30 »

04

2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии
машиностроительного производства»

5B071200 – Машиностроение



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

СМ/ТМП, PhD, ассоц. проф.

Б.С. Арымбеков Арымбеков Б.С.

« 30 » 04 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Нурланов Ансар Рустемович

Тема: CAD/CAE технология проектирования детали оболочной формы
приказом Ректора Университета № 1252-п от «06 » ноября 2018г.

Срок сдачи законченной работы

« 2 » мая 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: Проектирование деталей
оболочной формы крыльчатки компрессора ККК К27 и Расчет оболочных
деталей в АРМ Weinmachine

Краткое содержание дипломной работы:

- обзор CAE систем существующих на современном рынке
- рассмотрение методики проектирования с использованием с CAE систем
- использование CAE систем в проектирование технологического процесса 3D печати
- определение параметров 3D печати тонкостенных деталей

Перечень графического материала: чертеж крыльчатки– 1 лист формата А4,
представлены ___ слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 4 наименований

- Малюх В.Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. —М.: ДМК
Пресс, 2010. —192 с. —ISBN 978-5-94074-551-8

б) Соколов В.Л. Опыт эксплуатации и ремонта трубопроводной арматуры на объектах ООО "Киниф" / В.Л. Соколов, А.В. Смирнов // Отраслевой научно-технический журнал "Арматуростроение". – 2004. – № 6 (32). – С. 43-45.

в) Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. и др.; Под общ. ред. Александрова А.А и Иващенко Н.А. Двигатели внутреннего сгорания. Т. □ - 14. – М.: Машиностроение, 2013. - 784 с.: ил.


г) Белобородов А.В. Совершенствование методики проектирования запорной арматуры с использованием численных методов: дис...канд. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 148 с.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Поиск информации Список литературы По CAD/CAE системам	10.02.19 - 10.03.19	
Исследование особенности проектирования деталей тонкостенной формы.	15.03.19 – 19.04.19	
Проектирование тонкостенных деталей используя CAD/CAE системы	24.04.19 – 30.04.19	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультант, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Карпеков Р.К., лектор	30.04.2019	

Научный руководитель _____  Исаметова М.Е.

Задание принял к исполнению обучающийся  Нурланов А.Р.

Дата _____ "06" ноября 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 Технологии проектирования при использовании CAD/CAE систем	11
1.1 Основные принципы проектирования	11
1.2 Современные CAD CAE системы и их применение в машиностроении	12
2 Расчет оболочных деталей в APM Weinmachine	14
3 Применение CAE систем в проектирование тех процесса 3d печати simufact additive	19
4 Исследование возможностей применения 3D печати в машиностроении	21
4.1 Актуальность развития современных аддитивных технологий	21
4.2 Возможности применения 3D печати производстве оболочных деталей	23
5 Проектирование и распечатка оболочной детали в CAD/CAE	25
5.1 Выбор САПР	25
5.2 Создание трехмерной модели детали	27
Заключение	33
Список использованной литературы	34

АНДАТПА

Дипломдық жұмыстың тақырыбы: қабық формасының бөлшектерін жобалау үшін CAD / CAE технологиясы.

Осы жұмыстың негізгі мақсаты: қабықшаларды жобалау кезінде CAD / CAE жүйелерін пайдалану.

Бірінші тарауда машина жасау мен заманауи CAD / CAE жүйелерін жобалаудың негізгі принциптері және оларды машина жасау саласында қолдану туралы айтылады.

Баяндамада APM Weinmachine ішіндегі қабықтың бөліктерін есептелген бөліктің беріктігі туралы қорытынды жасалды. 3D принтерде басып шығару кезінде қалдық қысым мен мүмкін деформацияларды анықтауға мүмкіндік беретін 3D принтерде жіңішке қабырғалы қабықшалар бөлшектерін жобалау және өндіру үшін CAE жүйелерін пайдалану мүмкіндігін бағалау үшін жұмыс жасалды.

Жұқа қабырғалы қабықтың бөлшектері 3D принтерде басып шығарылып, қажетті бағдарламалық жасақтама түрлендіріліп, ауыстырылды. Комплексті жіңішке қабырғалы бөлшектерге арналған жүйелі жобалау әдістерін оқып, қолданды, осы әдісінің құрамдас бөліктерін және олардың қолдану аясын қарастырды, осы принциптерді пайдаланудың негізгі принциптерін сипаттады.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы: CAD/CAE технология проектирования детали оболочной формы/

Основная цель данной работы: использование CAD/CAE систем в проектирование оболочных деталей.

В первой главе говорится об основных принципах проектирования деталей в машиностроения и Современные CAD CAE системы и их применение в машиностроении.

В работе описан расчет оболочных деталей в APM Weinmachine сделаны выводы по прочности проектируемой детали.

Проведена работа по оценке возможности использования CAE систем для проектирования и производства тонкостенных оболочных деталей на 3D принтере с система позволяющими определить остаточное напряжение и возможные деформации данных деталей при распечатке на 3D принтере.

Была проектирована тонкостенная оболочная деталь переведена в необходимое ПО и распечатка на 3D принтере.

Изучен и применен на практике системным методов проектирования сложных тонкостенных деталей, рассмотрены составные части данного метода и их сферы применения, описан основные принципы работы данных принципов.

ANNOTATION

Thesis: CAD / CAE technology for designing the details of the shell form.

The main objective of this work: the use of CAD / CAE systems in the design of shell parts.

The first chapter tells about the basic principles of designing parts in mechanical engineering and Modern CAD CAE systems and their application in mechanical engineering. This work lead to conclusions on future of shell parts and ability of them to be printed on 3D printer and why this way of producing them is preferred way of doing so.

The paper describes the calculation of shell parts in the APM Weinmachine made conclusions on the strength of the designed part. Work was done to assess the possibility of using CAE systems for the design and production of thin-walled shell parts on a 3D printer with a system that allows determining residual stress and possible deformations of these parts when printing on a 3D printer.

A thin-walled shell detail was designed and translated into the necessary software and printed on a 3D printer.

Studied and applied in practice system-based design methods for complex thin-walled parts, considered the constituent parts of this method and their scope of application, described the basic principles of operation of these principles.

Введение

В связи с необходимостью постоянного усложнения геометрических форм и физико-химических характеристик изделий машиностроительная отрасль должна находить все более совершенные методы обработки и производства деталей и механизмов. На данный момент 3D- распечатка составляет около 20% всего машиностроительного производства в связи определенными преимуществами данного типа производства все более и более очевидно то, что традиционные способы производства могут не устоять гонку со временем. Аддитивные технологии позволяют получать невероятно точные детали практически из любого необходимого материал с более сложными геометрическими формами которые просто невозможно получить ни каким иными способами производства и обработки заготовок. На данный момент рынок данных технологи оценивается в 14 миллиардов долларов. Поэтому прекращение развития в данном направлении еще не планируется и с возможностями, которые дают аддитивные технологии машиностроительная отрасль получает уникальные возможности.

Оболочные детали являются одними из самых сложных видов деталей для производства по причине высокой стоимости оборудования необходимой высокой точностью обработки и высоким уровнем брака. Аддитивные технологии, а потенциале позволять сильно удешевить производство таких деталей и привнести необходимые модернизацию в их дизайн что позволить улучшить качество и функциональность данного типа изделий.

1 технологии проектирования при использовании CAD/CAE систем

1.1 Основные принципы проектирования

Процесс проектирования является начальным этапом разработки еще не существующих изделий или модернизацией новых. Процесс проектирования это получение и перевод начального описания изделия в окончательное описание на основе выполнения необходимого расчетного и конструкторского комплекса работ.

Автоматизированным проектированием называют получение проектировочных решений при с помощью взаимодействия человека, ЭВМ и средств автоматизации. Даную систему называют системой автоматизированного проектирования (САПР)[5].

Системный подход представляет собой совокупность идей проектирования сложных систем, данный подход считается наиболее общим среди большого количества альтернатив и поэтому применяется наиболее часто.

Одним из основных общих принципов системного подхода является рассмотрение взаимодействия различных сложных систем и частей конкретных явлений.

Системотехника как раз токи исследует подобные сложные технические системы, различные способы их проектирование. Системотехники изучает совокупность организации процесса создания, использования и развития технических систем и методы, и принципы их проектировочной и исследовательской деятельности. В системотехнике важно целеполагание системы и умение организовать рассмотрение системы через призму выведенных целей. Что помогает проектировщику отбросить мало значимые данные в проектировании и моделировании той или иной модели и не посредственно перейти к постановке оптимизированных задач.

Системы автоматизированного проектирования это одни из самых слое сложных современных искусственных систем что делает их проектирование невозможны без системного подхода или иных альтернатив. Поэтому системотехника является важной частью в изучение современных автоматизированных систем и технологий их применения так как без нее изучение данных всех является практический не возможным. Ярким примером необходимости системного подхода в моделирование является возможность через данную систему реализовывать конструкторскую преемственность и возможность повторного использования информации и наработок в ходе проектирования сложных машиностроительных конструкций[6].

Далее мы рассмотрим различные подходы и разновидности системного подхода к решению данных сложных систем.

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется объединить различные системы из компонентов (блоков) и давать оценочные

критерии данным вариантам при помощи создания и переборе их частичного синтеза с предварительными прогнозами характеристик данных компонентов.

Блочно-иерархический подход к проектированию заключается в разложении сложно описанных объектов в элементарные описания частей данных объектов и соответственно средств разложения на иерархические уровни, использует понятия восходящего и нисходящего стиля проектирования которые подразумевают стиль анализа отдельных частей общего сложно описанного объекта рассматривая его составные базовые части, различаются они тем с какой ступени иерархии начинается анализ данной системы. Так же в рамках данного подхода устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней и установления причин распределения приоритетности данных критериев[1].

Объектно-ориентированный подход к проектированию (ООП) предназначен в основном для рассмотрения и разработки информационных систем и прежде всего их программного обеспечения (ПО). Причиной данной специализации является ряд преимуществ, которые данный подход дает в решении проблем сложными информационными системами и интеграции в них ПО:

- Дает возможность высокого уровня структурирования модели, распределяя существующие данные и процедуры модели между классами объектов;

- Сокращает объем спецификаций, благодаря введению в описания иерархии объектов и отношений исследования между свойствами объектов разных уровней иерархии;

- Уменьшает вероятность искажения данных вследствие ошибочных действий за счет ограничения доступа к определенным категориям данных в объектах. Описание в каждом классе объектов допустимых обращений к ним и принятых форматов сообщений облегчает согласование и интеграцию ПО.

Для всех подходов к проектированию сложных систем характерны также следующие особенности:

- Структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур. Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию;

- Итерационный характер проектирования;

- Типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

1.2 Современные CAD CAE системы и их применение в машиностроении

CAD (computer-aided design), CAE (computer-aided engineering) системы позволяют избежать традиционных методов проектирования открывая возможность делать это на персональных компьютерах. К данным системам это программы, работающие с графикой, а также анализом допусков, расчетом

массовых инерционных свойств, моделированием FEM и визуализацией результатов анализа[5].

Основная функция систем САД состоит в том, чтобы определять геометрию структуры модели как характеристику от которой будет основываться все дальнейшие расчеты и измерения как на пример определение жизненного цикла. Преимуществами данного способа проектирования являются возможности проектирования более сложных деталей и упрощения предварительных расчетов характеристик изделия. Поэтому эти системы обычно считаются системами автоматизированного проектирования. Геометрическую информацию, которую внесли в САД-систему, можно в дальнейшем внести и использовать в САЕ- и САМ-системах, что делает САД-системы невероятно важной частью современного проектирования, позволяющей сэкономить время и уменьшить количество ошибок, связанных с необходимостью моделирования и определения необходимой геометрии модели. Для современных САД-систем используется модульный принцип построения. Базовые модули проектируемой модели применяются для твердотельного и поверхностного моделирования, создания конструкций из базовых элементов формы, выполняют создание чертежей с размерами и допусками. Конструкторская преемственность гарантируется возможностью пользователя пополнять «библиотеку» оригинальными моделями. Сборка осуществляется с помощью функций вызовом или ссылкой на элементы и модели в библиотечных архивах, их модификацией, разработкой новых деталей и их совмещением. Можно изменять пространственное положение деталей сборки, закреплять их положение относительно других элементов сборки и задавать свободы данных элементов[8].

Существуют дополнительные модули конструкторского проектирования, которые могут использоваться для более конкретной, но узкую специализации. Данные модули могут использоваться, например при необходимости конструирования панелей из композитных материалов, разработки штампов и литейных пресс-форм, трубопроводных систем, сварных конструкций, разводки электрических кабелей и жгутов. Существование таких модулей для САД-систем увеличивает их пользу в автоматизированном проектировании[3].

САЕ-технология использует компьютерные системы для анализа геометрии созданной в САД модели, моделирования и изучения поведения объекта, для улучшения и оптимизации его конструкции с помощью автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование. Система САЕ может выполнять:

- кинематический анализ (возможность определения траектории движения и динамики звеньев механизма);
- динамический анализ с большими смещениями и деформациями (используется для моделирования поведения материалов во время эксплуатации объекта или при оценке технологических процессов, например,

процесса штамповки или других высокоскоростных, сильно нелинейных процессов);

- расчет гидро- и газодинамических процессов;
- проверка и анализ логики и синхронизации (имитировать работу сложных электронных схем, например, при создании элементной базы для систем управления и т. д.).
- моделирование упруго-напряженного, деформированного, теплового состояния, колебаний конструкции, определения критических нагрузок. Чаще всего выполняется в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ);
- расчет состояний и переходных процессов на макроуровне;
- имитационного моделирования сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания

На данный момент существует большое количество компаний-разработчики предлагают ряд универсальных программных систем, в которых реализована CAD/CAE-технология, основанные на методах, обеспечивающих процесс автоматизированного проектирования в области машиностроения. К системам CAE относятся такие программы как Ansys, MSC Nastran, NX Nastran, Cosmos/M, Nisa, Moldflow, ABAQUS, LS-DYNA, MSC.ADAMS, MSC, T-FLEX Анализ. К системам CAD относятся CATIA (Dassault Systemes), UNIGRAPHICS NX (Siemens PLM Software), Pro/ENGINEER (PTC), AutoCAD Inventor Professional, КОМПАС-3d, SOLIDWORKS.

Основное преимущество методов анализа и оптимизации структур заключается в том, что производство тестовых прототипов и их испытание является дорогостоящим процессом который может занимать большой период времени но при использовании данных систем возможно предвидеть возможные проблемы и недостатки прототипа до его создания что сильно сокращает процесс проектирования. В области инженерного анализа CAE, в зависимости от его местоположения и задач, как и при автоматизированном проектировании CAD, целесообразно использовать системы разных уровней с учетом возможностей работы с элементами различной степени геометрическая сложность. Оболочные детали входят в список элементов повышенной степени технологической сложности что повышает необходимость в данных системах при проектирование данных элементов[6].

1.3 Расчет оболочных деталей в APM Weinmachine

Традиционные методы расчета. Как правило, большинство объектов запорной арматуры рассчитывают по аналитическим формулам, приведенными в соответствующей нормативно-технической документации. Однако, такой подход имеет ряд существенных недостатков, так как в этом случае вводится ряд упрощений:

- свойства материала принимаются только при расчетной температуре;
- используется линейно-упругая модель поведения материала;
- расчет ведется только для основных элементов (как правило, корпус и шпильки).

Для определения наибольших деформаций, корпус и крышку арматуры больших проходов можно рассматривать как раму, оболочку или деталь, состоящую из отдельных элементов. Расчет сферических и эллиптических участков как оболочки дает достаточно точные результаты, однако такие расчеты на практике выполняются крайне редко, так как требуют большого количества сложных вычислений. Поэтому для расчета применяют еще более упрощенный способ, заключающийся в том, что сечение корпуса по оси магистральных фланцев (наиболее опасный с точки зрения деформаций участка корпуса) рассматривается как балка, лежащая на двух опорах и воспринимающая распределенную нагрузку от давления среды, которая определяется как:

$$Q_F = H \cdot P \cdot L$$

где H - высота сечения, воспринимающего давление среды; L - ширина сечения, воспринимающего давление среды. При проектировании арматуры не учитывается фактическое распределение температуры в материале, возможность его работы за пределами упругости, а также влияние составляющих элементов арматуры (корпуса, крышки, штока и пр.) друг на друга [1].

Поэтому специалисты, проводящие расчет в —ручном режим, либо действуют на свой страх и риск, либо закладывают избыточные запасы прочности, что ведет к увеличению металлоемкости конструкции, либо вводят упрощения, которые не отражают реальную работу объекта и вносят значительные погрешности, ведут к удорожанию изделий и ухудшению их эксплуатационных характеристик [2].

Таким образом, для повышения точности проводимых расчетов НДС трубопроводной арматуры необходимо разработать адекватные методики компьютерного проектирования запорной арматуры с использованием численных методов. Для исследования в качестве объекта моделирования использовалась клиновидная задвижка марки ТЛ13001-500, используемая в качестве запорного устройства на технологических линиях нефтегазодобывающей промышленности. При проведении анализа НДС корпусных деталей методом конечных элементов, была выбрана расчетная механическая схема, предложенная авторами [3] и приведенная на рисунке 1.

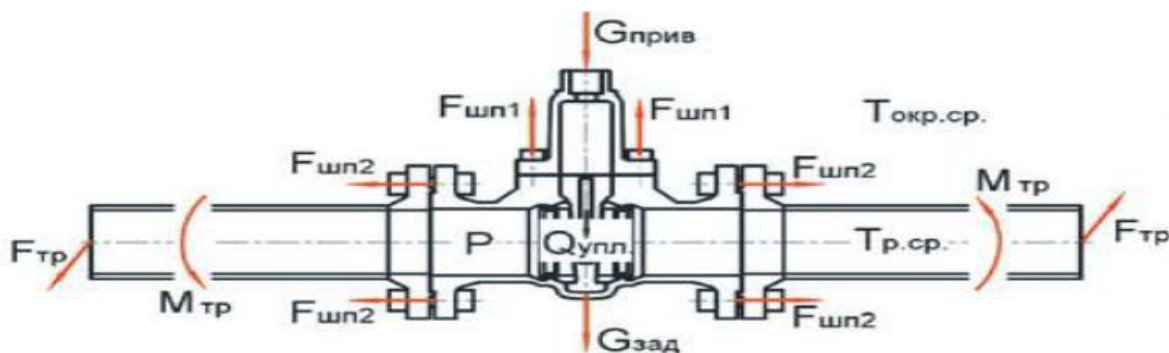


Рисунок 1 – Нагрузки, воспринимаемые запорной трубопроводной арматурой в процессе эксплуатации

Методика компьютерного расчета. На сегодняшний момент существует множество программных реализаций метода конечных элементов. Наибольшее распространение имеют коммерческие продукты зарубежных разработчиков, такие как NASTRAN, ANSYS, COSMOS, ABAQUS, LS-DYNA, ALGOR, ProMechanica, SAP, ADINA и другие. На территории России разработаны и используются программные пакеты MAPS, ДИАНА, ОТСЕК, ФИТИНГ, ФРОНТ. Инженерным центром прочности, надежности ресурса оборудования атомной техники разработано и совершенствуется семейство вычислительных программ CAN [4]. Помимо универсальных программных комплексов создано множество авторских реализаций метода, ориентированных на решение узкого круга задач. В качестве решения нами была выбрана российская CAE система APM Winmachine, предназначенная для инженерных расчетов деталей машин и сооружений. Методика компьютерного расчета клиновой задвижки проводилась по следующему алгоритму:

- создание модели в геометрическом редакторе КОМПАС 3Д (рисунок 3);
- импорт геометрической модели из CAD-системы КОМПАС в CAE систему APM Winmachine;
- разбиение на конечноэлементную сетку (рисунок 3).
- задание свойств материала углеродистой стали 25Л ГОСТ 977-88 и типов используемых конечных элементов;
- задание условий нагружения согласно рисунку 2, значение рабочего давления $P=4$ МПа;
- задание условий закрепления;
- выбор типа расчета (статический, деформационный).

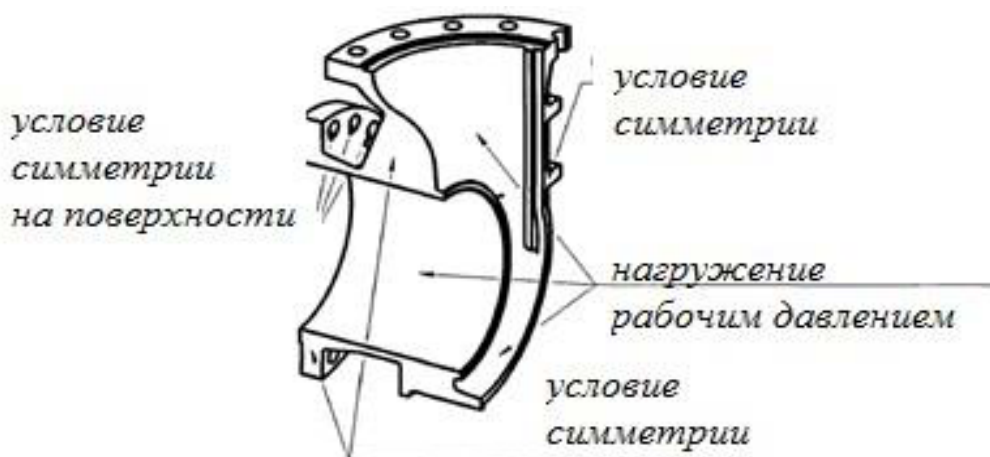


Рис. 2 – Схема к расчету корпуса клиновой задвижки

Проанализируем результаты расчета эквивалентных напряжений и суммарных перемещений по четвертой теории прочности для корпусных деталей

клиновых задвижек ТЛ13001-500. Поля распределения эквивалентных напряжений и перемещений представлены на рис. 4 и 5.

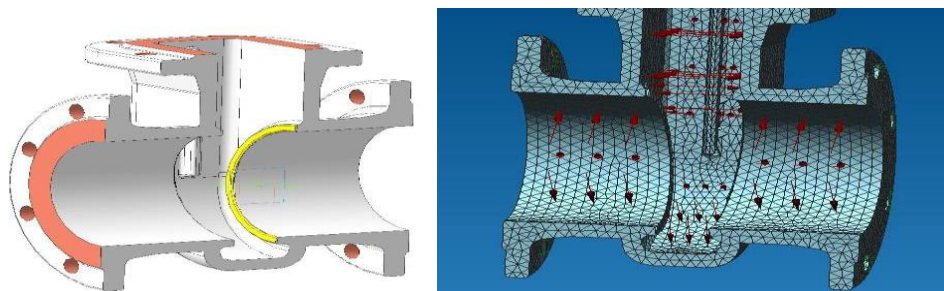


Рис. 3 – Геометрическая модель корпусных деталей клиновой задвижки ТЛ 13001-500 с учетом условий симметрии

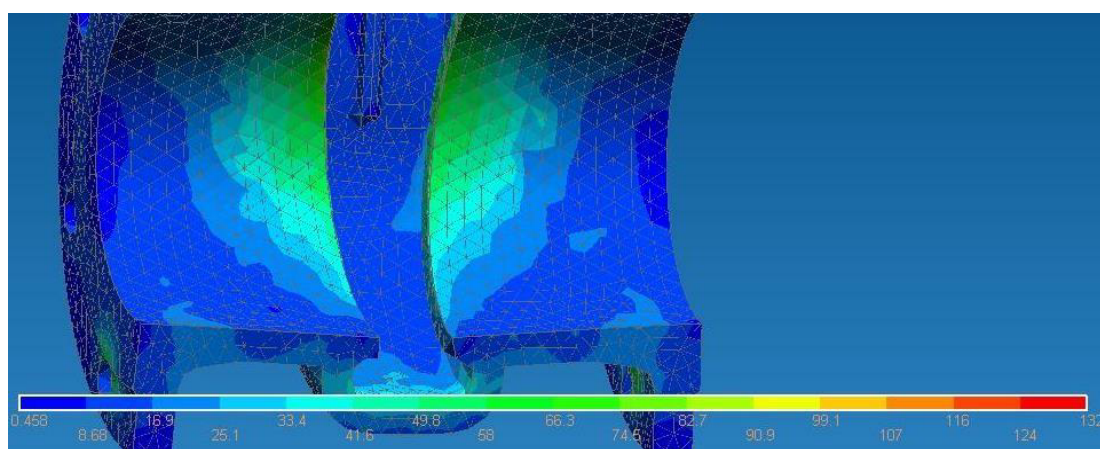


Рис. 4 – Поле распределения эквивалентных напряжений в корпусе клиновой задвижки ТЛ13001-500

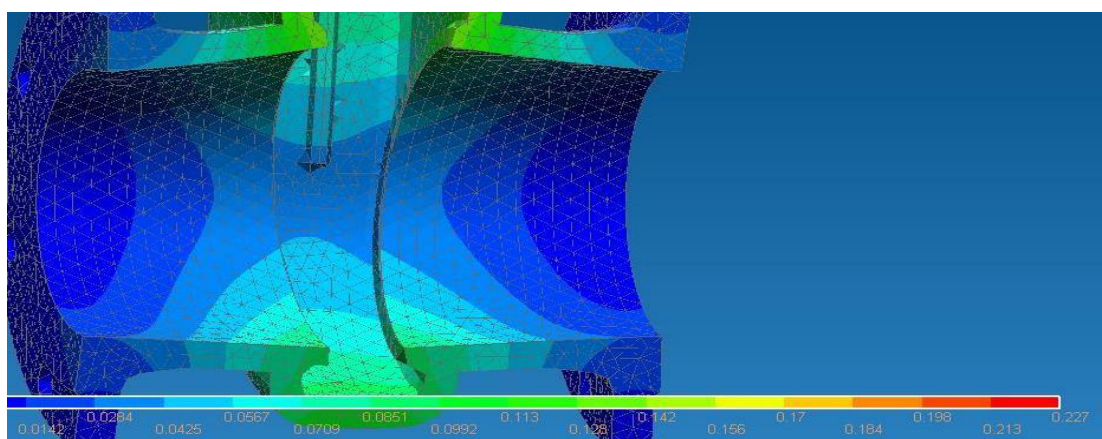


Рис. 5 – Поле распределения суммарных перемещений в корпусе клиновой задвижки ТЛ13001-500

В корпусе клиновой задвижки ТЛ13001-500 эквивалентные напряжения достигают $\sigma = 132$ МПа, за исключением ребер жесткости, в которых допустимо повышение уровня напряжений для обеспечения необходимой жесткости корпуса. Согласно диаграмме перемещений, максимальное значение составляет, и зоны, $\delta = 0,23$ теряющие жесткость, являются зонами контакта с уплотнительными элементами. В этом случае, для корпуса, за исключением ребер жесткости, коэффициент запаса прочности, учитывая значение допускаемого напряжения для стали 25Л, составит:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} = \frac{412}{132} = 3,1$$

где: $[\sigma]$ –допускаемое напряжение, δ - значение по результатам расчета.

Использование предложенного метода оценки НДС деталей на основе метода конечных элементов позволило расчетным путем установить, что для клиновой задвижки ТЛ13001-500 ТУ26-07-1615-93 деформации корпусных деталей при нагружении рабочим давлением приводят к неравномерному деформированию уплотнительных поверхностей деталей затвора (максимальное смещение по вертикальной оси 0,2 мм, степень неравномерности деформирования 50%, максимальное отклонение плоскостности 0,2 мм), что приводит к потере герметичности затвора и отказу арматуры. Полученные результаты согласуются с опытом использования данного типа клиновых задвижек [5] и результатами ресурсных испытаний.

3 Применение CAE систем в проектирование технологического процесса в 3D печати

3.1 Применение CAE систем в проектирование тех процесса 3d печати simufact additive

Система imufact additive предназначен для получения данные по возможным остаточным напряжениям и возможным деформация при 3D печати. Так же она основана на методе конечных элементов, где модель аппроксимируется конечными элементами КЭ сетка

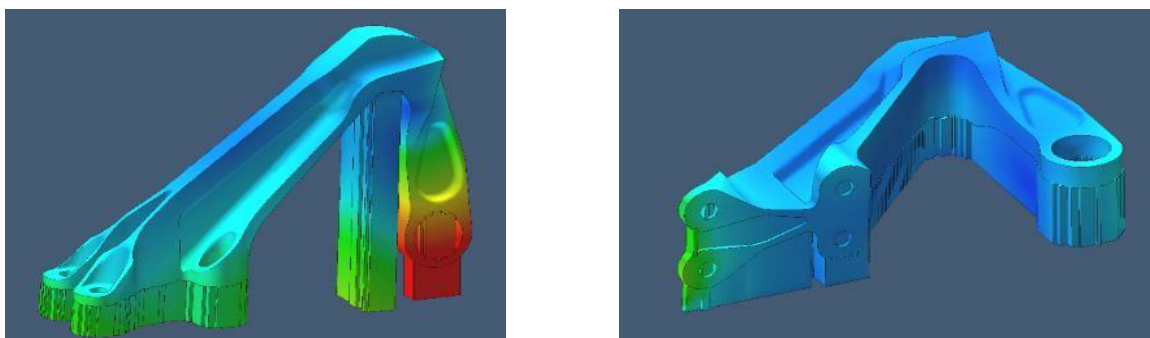


Рисунок 6 – Остаточные напряжения в детали после распечатки

Так же данный инструмент позволяет определить наилучшее расположение для детали что избежать проблем, связанных с не правильным ориентированием детали, которые могут негативно повлиять на качество или скорость распечатки.



Рисунок 7 – Оптимальные положение детали для распечатки

Новая концепция интуитивно понятного, легкого в освоении и использовании графического интерфейса, позволяют начать анализ в течение нескольких минут. Быстрое проведения расчетов на настольных компьютерах и даже на ноутбуках, не требуются облачные решения, безопасное использование, особенно актуальное для оборонной отрасли, а также для автомобильной и аэрокосмической отраслей. Масштабируемое решение

позволяющее выбрать между быстрым расчётом для решения основных проблем и подробным исследованием для глубокого изучения задачи. Быстрое создание воксельных КЭ сеток на любых деталях и поддерживающей структуре. Охватывает всю производственную цепочку до конечного результата, а не только сам по себе процесс 3D-печати. Основан на современных и надёжных технологиях, используя в качестве решателя Marc лидирующую систему компьютерного инженерного анализа нелинейных процессов. Партнёрство с компанией Materialize расширяет способы создания эффективных поддерживающих структур. Инструмент выбора наилучшей ориентации детали в пространстве позволяет выбрать наилучшую ориентацию детали по выбранным критериям. Автоматизированный рабочий алгоритм упреждающей компенсации искажений итерационно компенсирует форму детали до удовлетворения критерия "приемлемое искажение"[9].

4 Исследование возможностей применения 3D печати в машиностроение

4.1 Актуальность развития современных аддитивных технологий

Современные требования к технологии изготовления большинства сложных детали, отдельных узлов или машин в целом, претендуют на инновационную направленность и конкурентоспособность, выполнения основных условий жестких сроков исполнения контракта, поставку заранее оговоренного количества изделий с необходимым, ранее установленным регламентом требуемого качества. На данный момент показатель качества определяется соответствием параметров, включающий целый комплекс физико-химических и эксплуатационных показателей качества отдельных деталей и узлов входящих в изделие.

В случае масштабирования и широкого применения аддитивных технологий производитель имеет возможность быстрого доступа к экспериментальным моделям, возможность быстрой проверки нескольких инновационных путей решения технологических задач, стоящих перед ним. Что на и более важно иметь возможность практически мгновенно изменять направление производства подстраиваясь под нужды рынка и заказчиков что в свою очередь позволяет избавиться от лишних звеньев производственной цепи и необходимость в поиске субподрядчиков. Гибкость в выборе необходимых материалов также является преимуществом применения данных технологий так как благодаря ЧПУ возможна автоматизированная настройка принтера под необходимый вид материала.

Растущий интерес инвесторов и производители в новой и развивающейся сфере аддитивных технологий позволила за короткое время создать ряд принципиально различных методов производства и применяемых материалов. Уже на данный момент существуют аддитивные технологии позволяющие производить изделия из всевозможных металлов и сплавов как на пример принтеры, которые позволяют печатать из сплавов титана и других туго плавких материалов. Так же данные методы позволяют проводить ремонтные (восстановительные) работы на поврежденных деталях, узлах и механизмах.

Boston Consulting Group (BCG) в 2017 году спрогнозировали что рынок аддитивных технологий вырастет в более чем три раза к 2021 году, 2 года спустя мы видим что рынок 3D- печати составляет более 14 миллиардов долларов, что показывает интерес в развитии данной сферы и гигантский потенциал для применения и интеграции данных технологий в существующее производство[2].

Этот интерес обусловлен необходимостью поиска все более эффективных способов производства геометрической и физико-химических сложных изделий. Причинами для этого являются комплекс технологических задач современного производства такие как:

- необходимость мировой экономики перехода на электрические энергоносители;
- необходимость в поиске более экономичного использования материалов при производстве, обусловленного ограниченностью ресурсов;
- повышение гибкости производственных баз в связи с быстро изменяющимися потребностями рынка.

Переход на электрические энергоносители обусловлен интересом на отказ многих ведущих экономик мира от ископаемых энергоносителей в целях борьбы с глобальным потеплением, что в свою очередь поднимает проблему эффективности существующих технологий способных заменить те из них, что работают на ископаемых энергоносителях. Данная проблема может отчасти быть решена благодаря изменению способы производства некоторых частей механизмов и узлов. Возможность создавать очень сложные детали за счет сложности, которых возможно уменьшение массы детали без уменьшения ее надежности поможет увеличить эффективность данных машин (смотреть рисунки б).

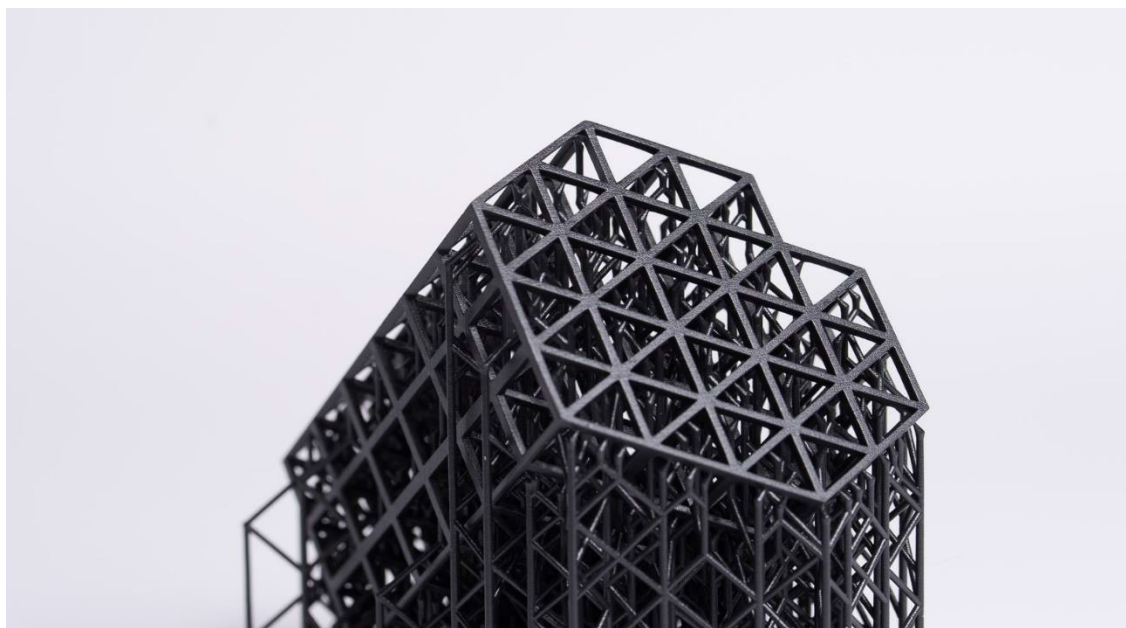


Рисунок 8 – возможная сложная геометрическая форма изделия изготовленного на 3D- принтере

Аддитивные технологии позволяют минимизировать потерю материала при производстве практически до нулевых показателей. Тогда, когда при изготовлении аналогичного изделия при обработке резаньем потеря материала составляет в среднем 17%, при литье потери составляют 44% металла, при обработке давлением 40%. Данный факт помогает увеличить эффективность производства и уменьшить расходы на производство.

На данный момент темпы модернизации всех сфер промышленности является невероятно быстрым что заставляет большую часть производителей быть максимально гибкими в вопросе производственных возможностей, при

большой конкуренции неспособность ориентироваться на запросы заказчиков является самым большим конкурентным недостатком. Аддитивные технологии как раз-таки дают необходимую гибкость производителю так как способные изменять вид изготавливаемых изделий практически, не требуя никаких изменений в производственной базе данного предприятия[6].

4.2 возможности применения 3D печати производстве оболочных деталей

В первую очередь данные технологии могут использовать в сфере тестирования новых разработок и тестирования экспериментальных моделей. Для создания рабочей модели без применения аддитивных технологий в среднем уходит от 6 дней до нескольких месяцев что сильно замедляет внедрение нововведений так же существуют определённые затраты связанные с созданием данных моделей тогда когда при использовании аддитивных технологий времени затрачивается от 1 дня до 3 недель что позволяет протестировать большее количество возможных конфигураций за короткое время, так же данные технологии не несут за собой никаких дополнительных затрат что сильно облегчает данный процесс.

Второй возможность является создание более сложных форм деталей и изделий, которые невозможно или очень затратно создавать классически способами обработки металлических заготовок. Возможность создавать большое количество очень малогабаритных ребер жесткости в обычных деталях всевозможных форм может очень сильно увеличить прочность производимых изделий, а также уменьшить их вес и затраты материалов.

Производство оболочных деталей очень сложный процесс, требующий высокоточного оборудования с высоким уровнем брака, что повышает стоимость производства данных изделий, но высоко точные аддитивные технологии не имеют данных проблем, как например SLS технологии которые позволяют создавать изделия с точностью в микрометры без рисков на брак и без большой потери металла

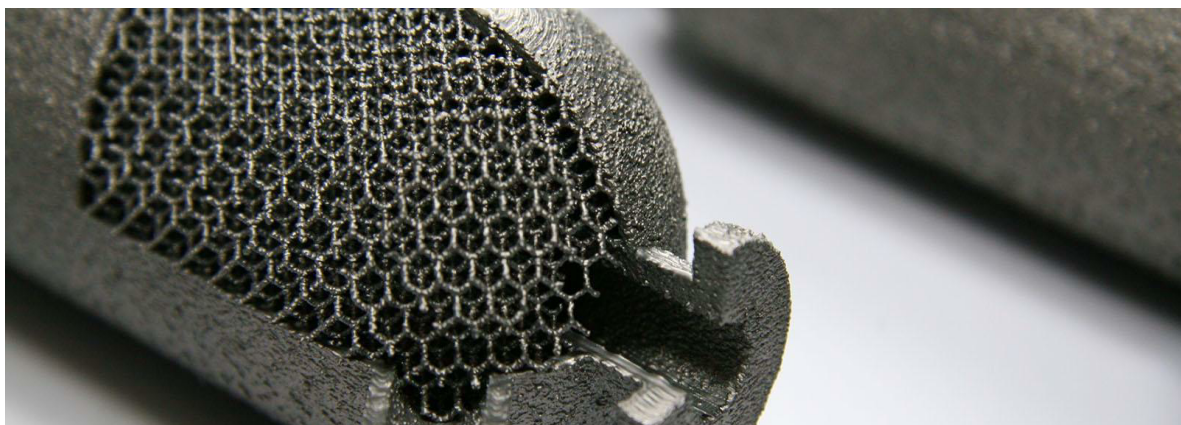


Рисунок 9 – Оболочная деталь с внутренними ребрами жесткости

5 Проектирование и распечатка оболочной детали в CAD/CAE

5.1 Выбор САПР

3D модель будет выполнена в программе SolidWorks2015. Solidworks предоставляет огромные возможности в моделировании различных механизмов, машин, деталей и т.п. После построения модели в данной программе, она будет импортирована в программу Repetier-Host, где будет осуществляться непосредственно форматирование в формат 3D- принтера и проводится настройки по непосредственно печати данной детали.

5.2 Создание трехмерной модели детали

Для проектировки была выбрана крыльчатка турбинного двигателя K27. Создание трёхмерной модели начинаю с создания двух окружностей на необходимом расстоянии друг от друга для наиболее точного создания формы поверхности, которая создается командой «поверхность-повернуть». После чего создается эскиз необходимой нам формы после применения, к которому команды «повернуть» получается база нашей крыльчатки (смотреть рисунок 13).

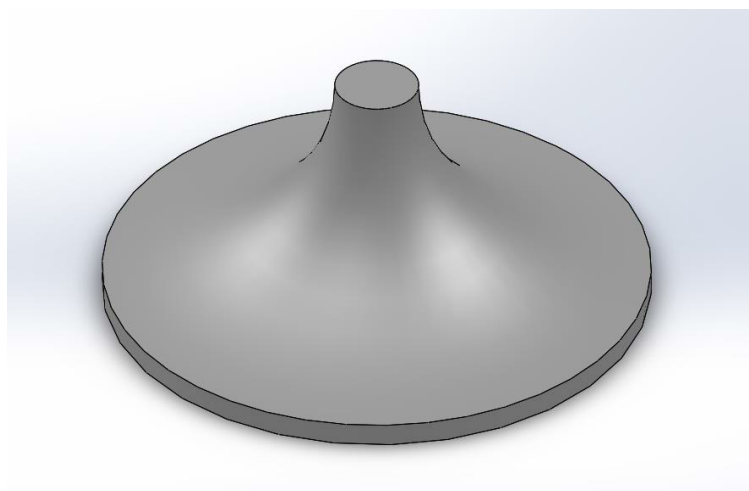


Рисунок 10 – База крыльчатки

Следующим шагом создания трехмерной модели будет создание лопастей. Для этого необходимо воспользоваться командой, «спираль» которая определит форму нашей лопасти, после чего мы создаем «эскиз» верхней грани лопасти, которая определит толщину данного конструктивного элемента и применим к данному эскизу и спирали функцию «по траектории» что и создаст модель лопасти.

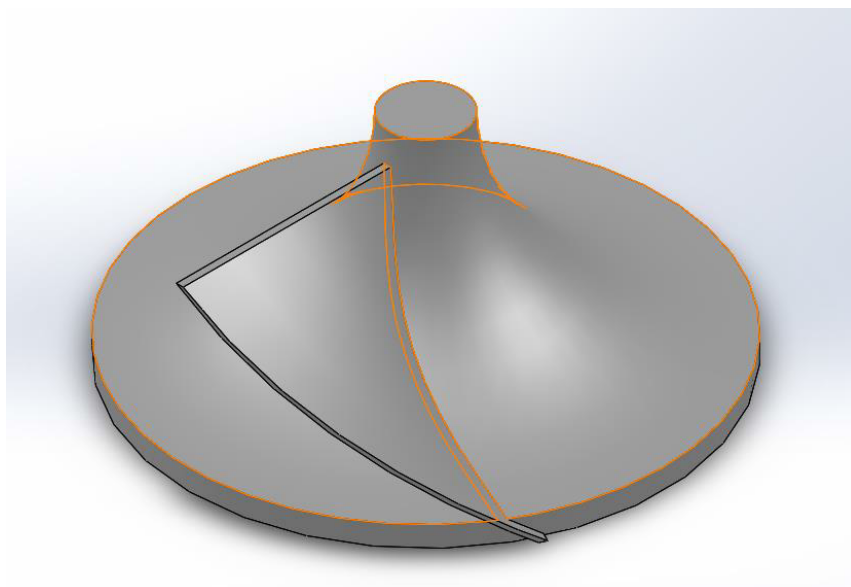


Рисунок 11 – Создание лопасти крыльчатки

Для создания необходимого нам количества лопастей и сохранения симметричности мы применяем к данной лопасти функцию «круговой массив».

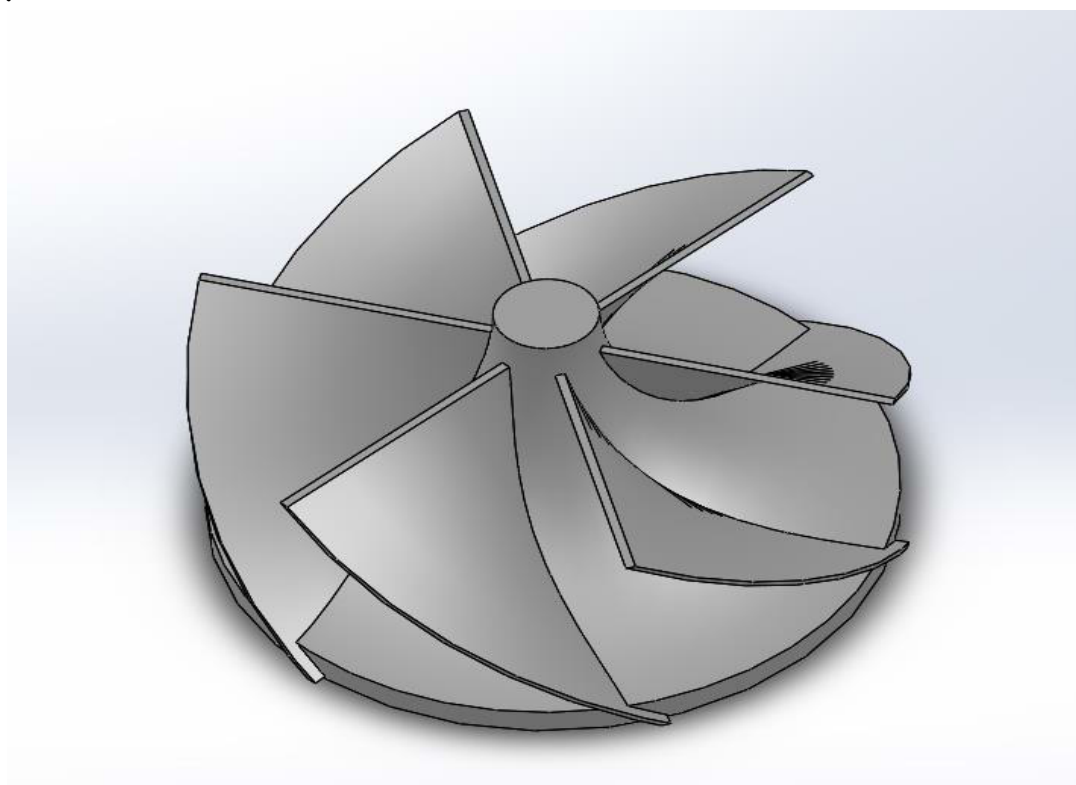


Рисунок 12 – модель после применения функции «круговой массив»

Для создания вспомогательной лопасти данной крыльчатки необходимо повторить тот же порядок действий при учете иных размерных данных.

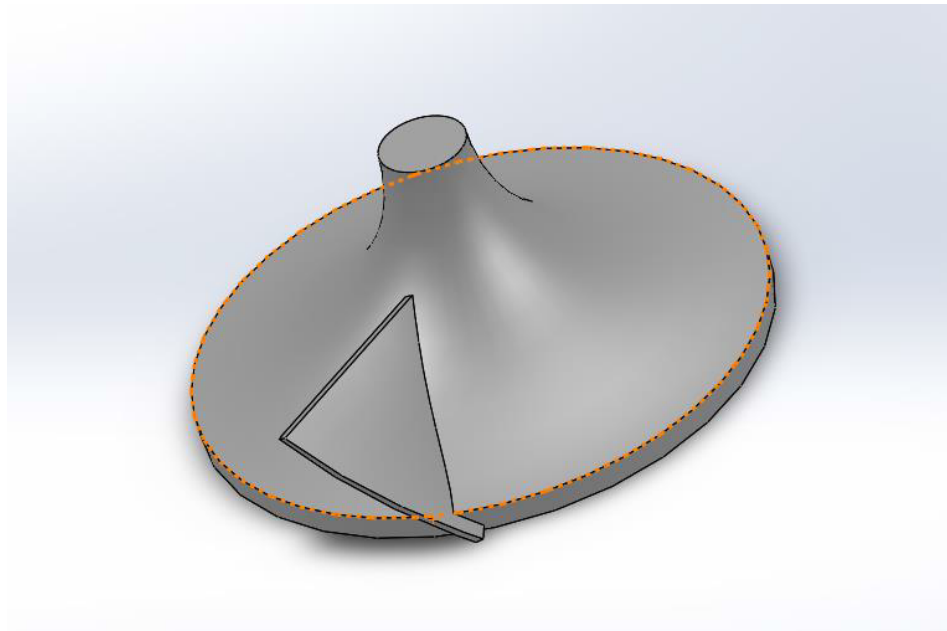


Рисунок 13 – Создание вспомогательной лопасти

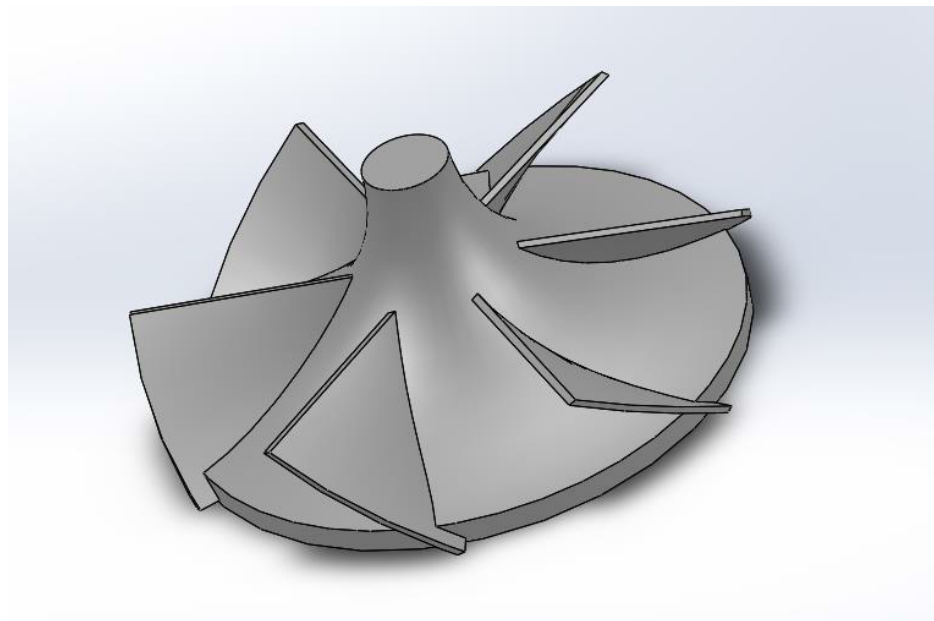


Рисунок 14 – Применение функции «круговой массив»

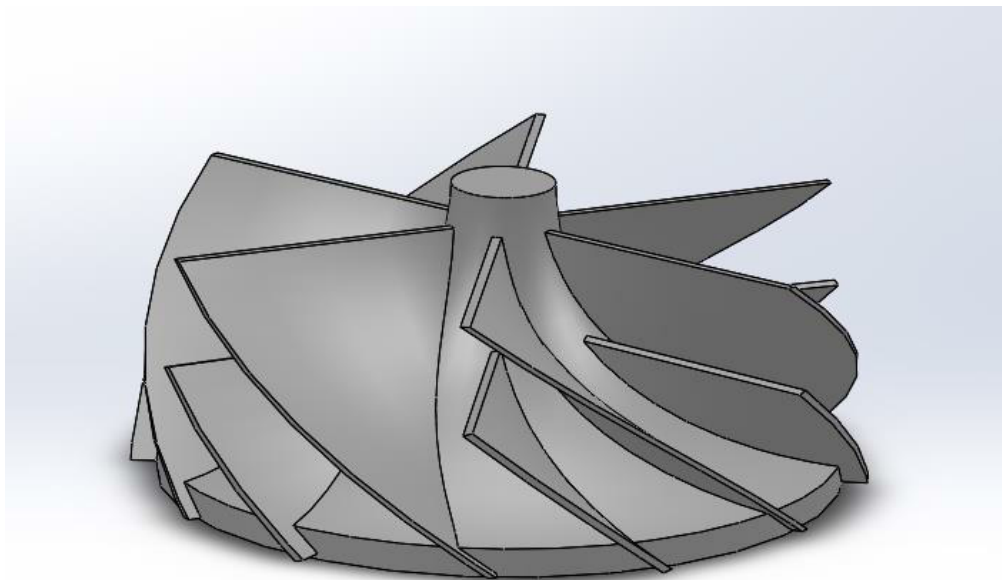


Рисунок 15 – Общий вид крыльчатки на данном этапе моделирования

Для придания необходимой сложной торцевой формы данной крыльчатки создается «эскиз», задающий данную форму к которому применяется функция «поверхность-повернуть», после чего применяется функция «сечение» к данной поверхности что позволяет достаточно точно придает необходимую форму.

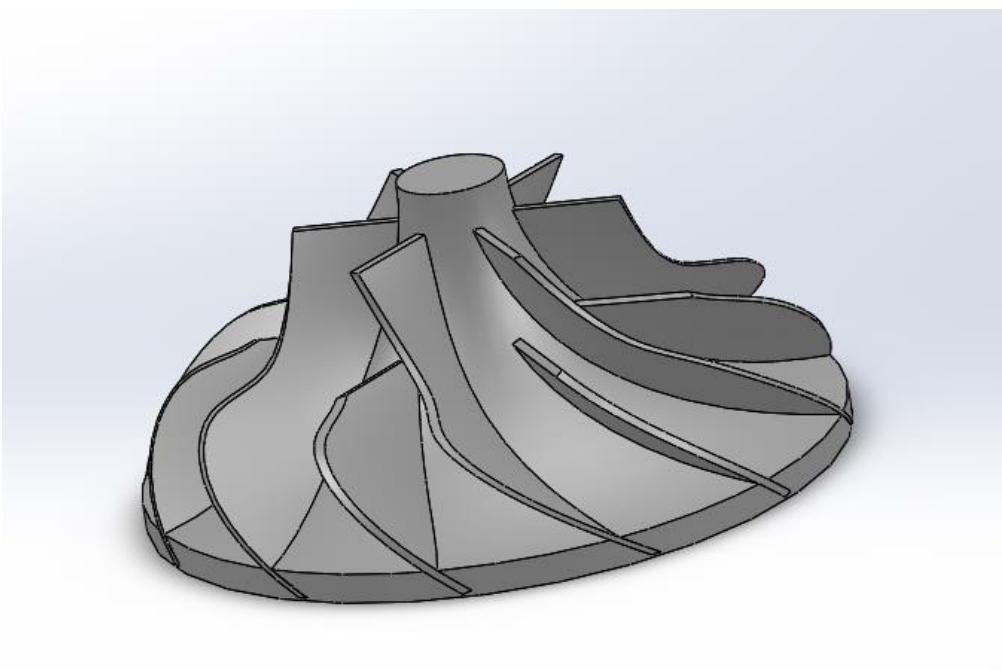


Рисунок 16 – Модель после применения функции «сечение»

Так же необходимо создать сквозное отверстие, проходящее через два центра окружности необходимого диаметра с помощью функции «вытянуть».

Так же применяем функцию «скругление» на всех необходимых пересечениях плоскостей.



Рисунок 17 – Созданное сквозное отверстие



Рисунок 18 – «сглаживание углов»

6 перевод модели в программу Repetier-Host для печати на 3D принтере
Для того что бы продолжить работу с созданной нами моделью крыльчатки в Solidworks необходимо сохранить данный файл в формате STL данный формат необходимо выбрать среди списка возможных форматов при сохранении файла.

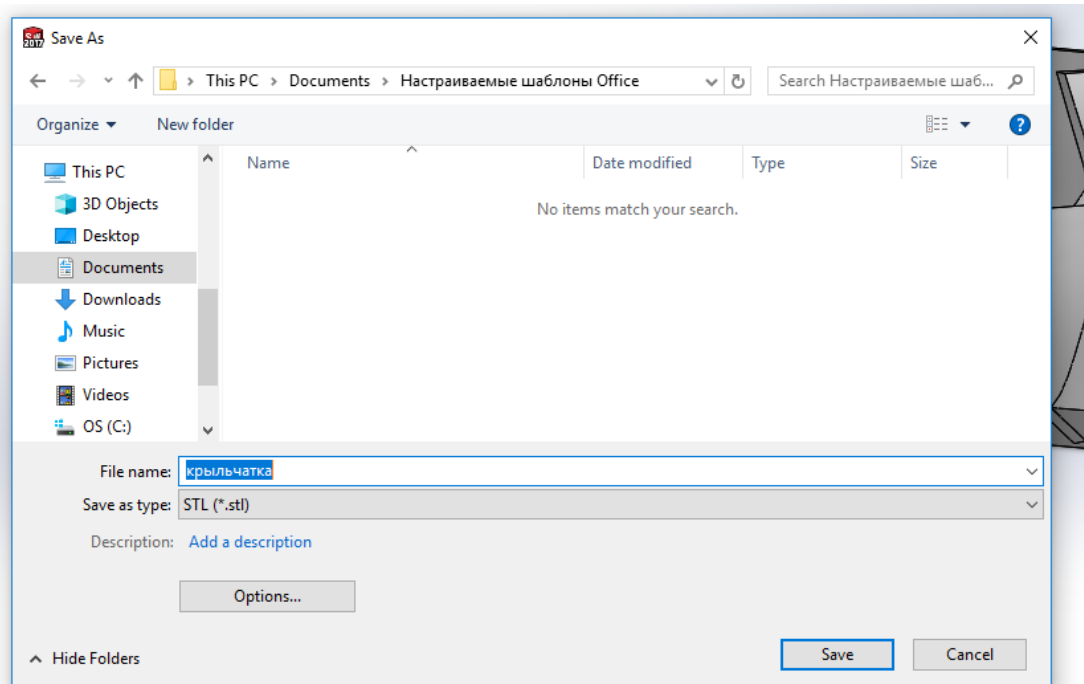


Рисунок 19 – Сохранение файла с моделью в необходимом формате

После чего необходимо открыть данный файл через программу Repetier-Host, при открытии которой вы увидите свою модель.

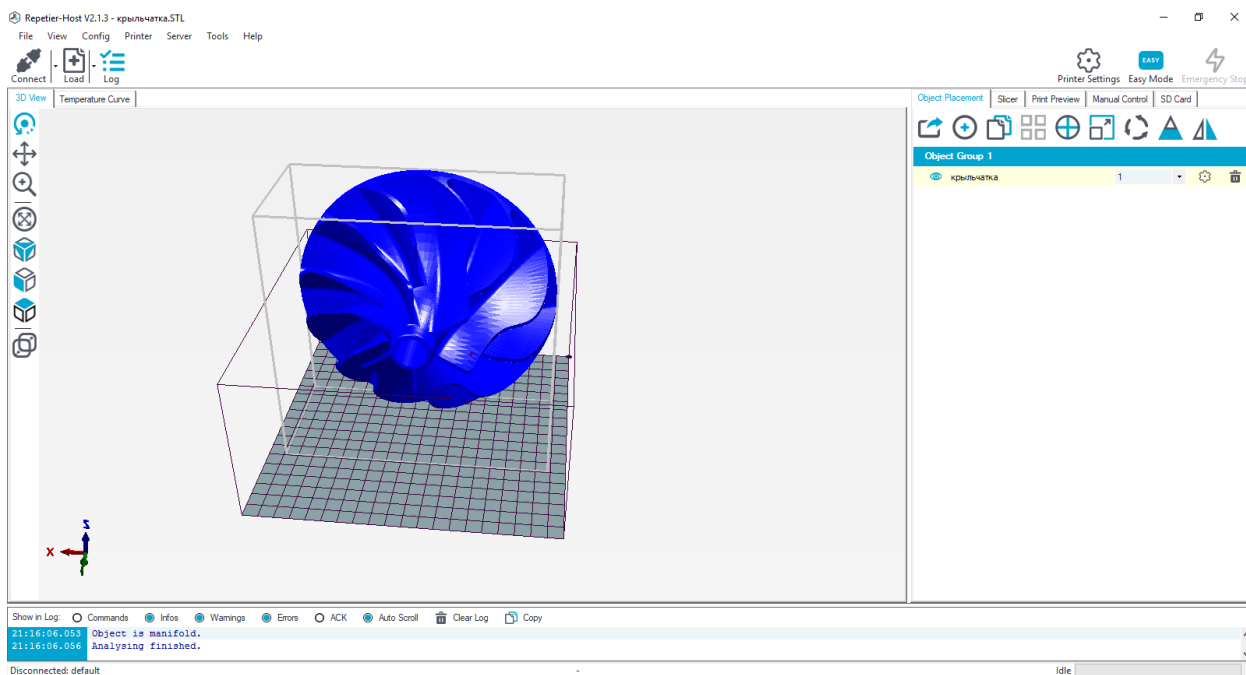


Рисунок 20 – экран компьютера при запуске программы Repetier-Host

Далее будет необходимо выбрать наиболее правильное расположение детали для избежание необходимости построения дополнительных элементов и с целью экономии материала и что более важно необходимо выбрать ту позицию, в которой при построй оболочных деталей риск искажения

геометрических форм на и меньший. В данном случае моя модель имеет плоскую поверхность, которая может гарантировать стабильность и наименьшие риски на искажение форм модели.

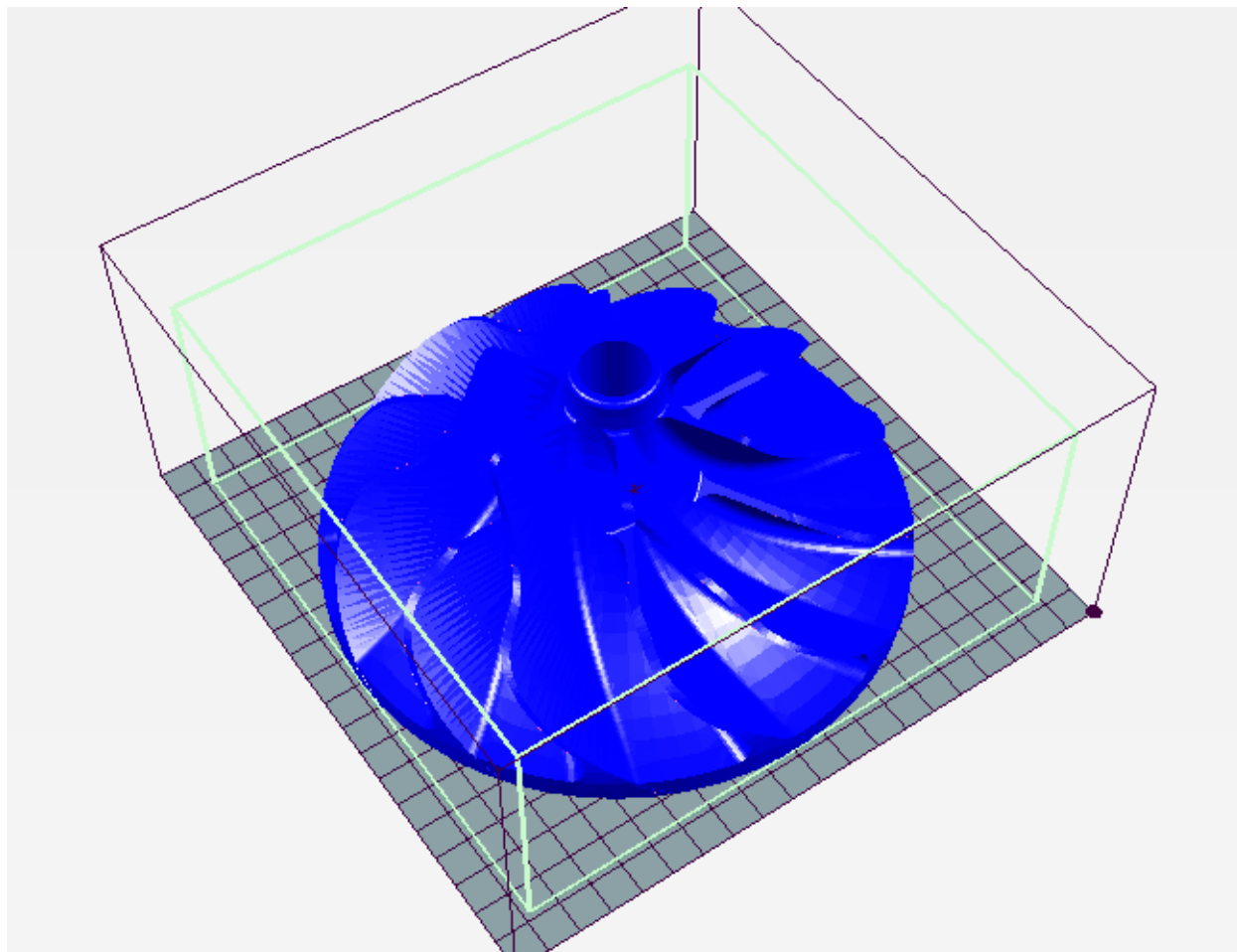


Рисунок 21 – Расположение модели выбранное для распечатки

Следующий шаг необходимо запустить функцию “slice” после чего программа «порубит» вашу модель на слои и разработает схему распечатки данной модели. Сложность распечатки оболочных деталей состоит в том, чтобы подобрать необходимые настройки распечатки для того, чтобы оптимизировать время печати, качество печати и затраченный материал. Так как у меня был ограниченный доступ к 3D принтеру мне пришлось пожертвовать качеством распечатываемой модели в пользу времени распечатки, но хочу заметить, что при самых благоприятных настройках распечатка данной модели в полном размере должно занять 14 часов. Для данной детали мне пришлось уменьшить размер большого диаметра до 7 см и остальные размеры пропорционально.



CuraEngine Settings

Print | Filament

Default

Speed and Quality | Structures | Extrusion | G-Codes | Advanced

Speed

	Slow	Fast	
Print:	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="70"/>	[mm/s]
Travel:	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="100"/>	[mm/s]
First Layer:	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="30"/>	[mm/s]
Outer Perimeter	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="60"/>	[mm/s]
Inner Perimeter	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="80"/>	[mm/s]
Infill:	<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="100"/>	[mm/s]
Skin Infill:	<input type="text" value="30"/>	<input type="text" value="60"/>	[mm/s]

Quality

Default Quality:

↑

↓

Selected Quality Setting

Name:	<input type="text" value="1.75 mm"/>	
Layer Height:	<input type="text" value="0.2"/>	[mm]
First Layer Height:	<input type="text" value="0.3"/>	[mm]
First Layer Extrusion Width:	<input type="text" value="100"/>	[%]

Рисунок 22 – Оптимальные настройки режимов печати

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе была проделана работа по выявлению актуальности по использованию CAD/CAE систем для технологии проектирования деталей оболочной формы.

Была проведена работа по проектированию тонкостенной оболочной детали в программе Компас3D также была создана 3D модель данной детали в программе Solidworks.

Затем созданная модель была форматирована в формат STL для переноса в программе Repetier-Host были выбраны оптимальные настройки печати на 3D принтере.

Рассмотрены возможности использования CAE систем в проектировании и распечатки на 3D принтере.

Был проведен расчет прочности оболочной детали в программе APM где были выявлены возможные недочеты данной детали и сделаны выводы основанные на данной информации.

Исследование существующих видов 3D принтеров и различия в их принципах работы, преимущества и недостатки каждого из них.

Был проведен анализ развития аддитивных технологий в сфере машиностроения в общем и в производстве оболочных деталей, в частности. Изучен рынок и создано понимание масштабов внедрения, данного технологии в производство. Определены основные преимущества использования данных технологий в сфере производства деталей оболочной формы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Малюх В.Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. —М.: ДМК Пресс, 2010. —192 с. —ISBN 978-5-94074-551-8
- 2 Лукина Н. Запорная арматура АРМАТЭК [Электронный ресурс]. – URL: <http://armatek.ru/> (дата обращения 20.01.2017).
- 3 Соколов В.Л. Опыт эксплуатации и ремонта трубопроводной арматуры на объектах ООО "Кинеш" / В.Л. Соколов, А.В. Смирнов // Отраслевой научно-технический журнал "Арматуростроение". – 2004. – № 6 (32). – С. 43-45.
- 4 Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. и др.; Под общ. ред. Александрова А.А и Иващенко Н.А. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-14. – М.: Машиностроение, 2013. - 784 с.: ил.
- 5 Паровой Ф.В., Лежин Д.С. Конструирование ДВС. Электронное учебное пособие. – Самара, 2011
- 6 Белобородов А.В. Совершенствование методики проектирования запорной арматуры с использованием численных методов: дис...канд. техн. наук. – Тюмень, 2005. – 148 с.
- 7 https://www.gubkin.ru/faculty/mechanical_engineering/chairs_and_departments/machines_and_equipment/automation_of_designing/osnovi_avtom_projekt.pdf
- 8 CAE-CUBE: Расчет трубопроводной арматуры. Часть I. Преимущества расчета современными методами [Электронный ресурс]. – URL: <https://dwg.ru/b/caecube/184> (дата обращения 20.01.17)
- 9 <https://www.simufact.com/simufact-additive.html>

