МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

Методические рекомендации к курсовому проектированию для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)» очной и заочной форм обучения



Могилев 2020

#### Рекомендовано к изданию учебно-методическим отделом Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «18» ноября 2020 г., протокол № 4

Составитель канд. техн. наук М. Н. Миронова

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

В методических рекомендациях изложены требования к объему, содержанию и оформлению курсовой работы по дисциплине «Информационные технологии и 3D-моделирование», даны рекомендации по выполнению всех разделов работы.

Учебно-методическое издание

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ответственный за выпуск

Корректор

Компьютерная верстка

В. М. Шеменков

А. А. Подошевко

Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. . Уч.-изд. л. . Тираж 86 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/156 от 07.03.2019. Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский университет, 2020

### Содержание

1	Цели и задачи выполнения курсовой работы	4
2	Объем и содержание курсовой работы	4
3	Пояснительная записка	5
3.	.1 Требования к оформлению записки	5
3.	.2 Введение	7
3.	.3 Исходные данные и последовательность моделирования	8
3.	.4 Разработка 3D-моделей деталей моделируемого механизма	8
3.	.5 Расчет и выбор стандартных комплектующих изделия	9
3.	.6 Расчет напряженно-деформированного состояния деталей	
методо	ом конечных элементов	10
3.	.7 Построение 3D-модели сборки механизма	12
3.	.8 Заключение	12
3.	.9 Составление списка литературы	13
3.	.10 Составление приложений	13
4	Графическая часть работы	13
4.	.1 Чертежи моделей деталей механизма	13
4.	.2 Чертеж 3D-модели механизма в сборе	14
4.	.3 Эпюры напряженно-деформированного состояния деталей	
механи	изма	14
4.	.4 Эпюры исследования движения	14
4.	.5 Обозначение чертежей	14
C	писок литературы	15
$\Pi^{2}$	риложение А	16
Π	риложение Б	17
Π	риложение В	18
Π	риложение Г	199

#### 1 Цели и задачи выполнения курсовой работы

Курсовая работа является завершающим этапом изучения дисциплины «Информационные технологии и 3D-моделирование».

Целью курсовой работы является систематизация, закрепление и углубление полученных студентами теоретических знаний, реализация практических навыков 2D- и 3D-моделирования деталей и сборочных единиц машиностроения в системах автоматизированного проектирования, приобретение опыта самостоятельного получения и накопления знаний, выработка навыков самостоятельной творческой деятельности.

Курсовая работа позволяет решить следующие задачи:

1) формирование культуры мышления на основе теоретических знаний о роли и значимости компьютерного моделирования для принятия инженерных решений;

2) развитие практических способностей и навыков:

– построения трехмерных моделей машиностроительных объектов;

– моделирования динамики и анализа прочности деталей машин;

 использования современных инновационных инструментов для компьютерного моделирования;

– оценки различных вариантов инженерных решений, разработки и обоснования предложений по их совершенствованию.

Выполнение курсовой работы позволяет проверить умение студента применять полученные им знания при компьютерном проектировании конструкций и технологий с использованием систем автоматизированного проектирования и инженерного анализа, проведению научно-исследовательских работ.

Контроль результатов выполнения курсовой работы проводится в форме ее защиты.

#### 2 Объем и содержание курсовой работы

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка, как правило, содержит следующие разделы:

– введение;

- разработка 3D-моделей деталей проектируемого механизма;

– расчет и выбор стандартных комплектующих изделия;

– расчет напряженно-деформированного состояния деталей методом конечных элементов;

- построение 3D-модели сборки механизма;

- заключение.

Объем графической части работы составляет 5-7 листов формата АЗ.

Графическая часть, как правило, содержит следующие материалы:

- 2D- и 3D-модели деталей механизма (4 листа);

- 3D-модель механизма в сборе (1 лист);

– эпюры напряженно-деформированного состояния деталей механизма или эпюры исследования движения механизма (1–2 листа).

Содержание и объем конкретной курсовой работы определяет ее руководитель и записывает в задание.

#### 3 Пояснительная записка

#### 3.1 Требования к оформлению записки

Текстовая часть пояснительной записки предоставляется отпечатанной на принтерном устройстве ЭВМ на листах формата A4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Первым листом документа является титульный лист, вторым – лист задания на курсовое проектирование, третьим – первый лист содержания документа с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104–2006.

Все последующие листы, кроме чертежей, выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа. Порядок кодирования чертежей и пояснительной записки приведен в разделе 4 «Обозначение чертежей».

Слово «Содержание» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Названия разделов, включенных в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строки – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней линии рамки должно быть не менее 10 мм.

Текст записки делят на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Разделы должны иметь заголовки. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, строчными буквами, полужирным шрифтом размером на 1–2 пункта больше, чем в основном тексте, без подчеркивания.

Заголовки подразделов печатают с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной) полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста.

Пункты, как правило, заголовков не имеют. При необходимости заголовок пункта печатают с абзацного отступа полужирным шрифтом с размером шрифта основного текста в подбор к тексту.

Расстояние между заголовками (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять 2 межстрочных интервала. Если между двумя

заголовками текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5–2 межстрочных интервала.

Нумерация страниц дается арабскими цифрами, которые проставляют в последней графе основной надписи листа без точки в конце. Каждая из формул пишется в документе на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты, выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке. Промежуточные результаты не записываются.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно под формулами. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формулах.

*Пример* – Делительный диаметр шестерни  $d_1$ , мм, рассчитывается по формуле

$$d_1 = m \cdot Z_{1.}, \tag{1.1}$$

где m – модуль, мм;

*Z*<sub>1</sub> – число зубьев шестерни.

Иллюстрации (пояснительные рисунки, схемы) должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Их следует нумеровать арабскими цифрами. Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают симметрично полю иллюстрации, например: Рисунок 2.1 – Эпюра напряжений.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы в соответствии с рисунком 1.

Таблица 1.1 – Основные	размеры и параметры	ы подшипников по ГОСТ 8338–75

Номер подшипника	Обозначение подшипника	<i>d</i> , мм	<i>D</i> , мм	В, мм

Рисунок 1 – Вид таблицы, используемой в курсовой работе

Таблицы слева и справа, снизу и сверху ограничивают линиями. Линии, ограничивающие формат листа, не могут служить линиями таблицы.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы.

Если все показатели в графах таблицы выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью.

Оформление приложений осуществляется в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его обозначения. Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ы, Ъ. Допускается использование для обозначения приложений арабских цифр. После слова «Приложение» следует буква или цифра, обозначающая его последовательность.

Приложения, как правило, оформляют на листах формата А4 и должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

*Требования к лингвистическому оформлению курсовой работы.* При написании курсовой работы не должны употребляться как излишне пространственные и сложно построенные предложения, так и чрезмерно краткие лаконичные фразы, слабо связанные между собой и допускающие двойные толкования. При написании курсовой работы не рекомендуется вести изложение от первого лица единственного числа. Предпочтительно выражать свои мысли в безличностной форме, например,

– на основе выполненного анализа можно утверждать ...;

- проведенные исследования подтвердили ...;

– установлено, что...;

- следует подчеркнуть (выделить) и т. д.

#### 3.2 Введение

Во введении формулируется цель курсовой работы и ставятся задачи, решение которых обеспечит достижение поставленной цели. Приводятся особенности и методы выполнения работы.

Цель работы конкретизирует тему, указывая, какой прикладной результат ожидается достичь.

Для достижения цели должны быть поставлены отдельные задачи. Задачи конкретизируют цель работы и разбивают процесс ее достижения на отдельные взаимосвязанные этапы. Каждая глава курсовой работы должна содержать решение одной или нескольких задач в зависимости от их сложности.

Во введении раскрываются актуальность темы курсовой работы, указываются выбранные методы исследования, сведения о практическом применении полученных результатов.

Введение, как правило, не должно превышать одной страницы текста.

#### 3.3 Исходные данные и последовательность моделирования

Исходными данными для проектирования являются схема моделируемого механизма, а также его технические характеристики.

Моделирование любого механизма содержит несколько последовательно выполняемых этапов.

Вначале на основе анализа исходных данных осуществляется проектный расчет составляющих изделия и ведется их эскизная проработка. После эскизной проработки деталей механизма выполняют построение их 3D-моделей.

Следующим этапом проектирования моделируемого механизма является расчет и выбор стандартных комплектующих механизма (шпонок, подшипников и т. д.).

Затем выполняют построение 3D-модели механизма (редуктора).

На заключительном этапе моделирования выполняют расчет напряженнодеформированного состояния механизма и его деталей на основе использования метода конечных элементов.

#### 3.4 Разработка 3D-моделей деталей моделируемого механизма

На основе исходных данных производят расчет геометрических параметров деталей механизма и выполняют их эскизную проработку.

В разделе также описывается поэтапное создание 3D-моделей деталей проектируемого механизма.

Порядок создания 3D-модели тела вращения:

1) используя команду «Осевая линия», создают ось симметрии детали, проходящую через ось координат;

2) используя команду «Линия», вычерчивают половинчатый контур детали и устанавливают необходимые размеры, используя команду «Автоматическое нанесение размеров» (рисунок 2);

3) во вкладке «Элементы» выбирают команду «Повернутая бобышка» и указывают построенный контур;

4) проставляют фаски, используя команды «Скругление», «Фаска»;

5) для создания шпоночного паза в дереве конструирования выбирают плоскость «Спереди». Удерживая кнопку «Ctrl» и левую кнопку мыши,

перемещают данную плоскость вверх, указывая направление, на величину радиуса шейки вала, на которой расположен шпоночный паз. На перемещенной плоскости в режиме «Эскиз» строят эскиз шпоночного паза;

6) во вкладке «Элементы» выбирают команду «Вытянутый вырез» и указывают глубину паза.



Рисунок 2 – Эскиз вала с проставленными размерами

#### 3.5 Расчет и выбор стандартных комплектующих изделия

В разделе привести основные размеры и параметры выбранных стандартных элементов (шпонок, подшипников и др.) моделируемого изделия.

Шпонки, как правило, используются для передачи крутящего момента в соединении вала с зубчатым колесом, втулкой или шкивом, неподвижных по отношению друг к другу.

Размеры сечений шпонок и пазов стандартизованы и выбираются по соответствующим стандартам в зависимости от диаметра вала, а вид шпоночного соединения определяется условиями его работы.

Размеры поперечного сечения призматической шпонки выбираются по ГОСТ 23360–78 в соответствии с диаметром вала в месте установки шпонки.

После выбора размеров поперечного сечения шпонки (*b* и *h*) в ходе выполнения проектного расчета шпоночного соединения определяют расчетную рабочую длину шпонки *l<sub>p</sub>* по формуле

$$l_p \geq \frac{4 \cdot 10^3 T}{h \cdot d \cdot [\sigma_{cm}]},$$

где T - крутящий момент на валу,  $H \cdot M$ ;

*d* – диаметр ступени вала, мм;

*h* – высота шпонки, мм;

[ $\sigma_{cM}$ ] – допустимые напряжения смятия, МПа.

Расчётную длину округляют до стандартного значения, согласуя с размером ступицы.

При проектировании шпоночных соединений следует придерживаться следующих рекомендаций:

 перепад диаметров ступеней вала с призматическими шпонками назначают из условия свободного прохода детали большего посадочного диаметра без удаления шпонки из паза на участке меньшего диаметра;

 при наличии нескольких шпоночных пазов на валу их располагают на одной образующей;

– для разных ступеней одного и того же вала назначают одинаковые по сечению шпонки, исходя из ступени меньшего диаметра.

Подшипники качения подбирают по таблицам соответствующих ГОСТов в зависимости от размера и направления, действующих на подшипник нагрузок; диаметра цапфы, на которую насаживается подшипник; характера нагрузки; угловой скорости вращающегося кольца подшипника; желательного срока службы подшипника и его наименьшей стоимости.

Подшипники шариковые радиальные однорядные выбирают по ГОСТ 8338–75 в соответствии с диаметром посадочных поверхностей валов под подшипники.

Выбранные подшипники и их основные параметры заносятся в таблицу.

#### 3.6 Расчет напряженно-деформированного состояния деталей методом конечных элементов

Расчет напряженно-деформированного состояния деталей методом конечных элементов выполняется с использованием программного продукта SolidWorks Simulation.

Для создания нового исследования необходимо последовательно выбрать «Simulation», «Консультант исследования», «Новое исследование», «Статический анализ».

Статические исследования вычисляют перемещения, силы реакции, нагрузки, напряжения и распределение запаса прочности. Материал разрушается там, где нагрузки превысили определенный уровень. Вычисление запаса прочности базируется на критерии разрушения.

Статические исследования позволяют избежать разрушения, вызванного высоким напряжением. Коэффициент запаса прочности меньше единицы означает разрушение материала. Большие коэффициенты прочности в некоторой области указывают на низкие нагрузки и на то, что можно извлечь некоторый материал из этой области.

Прежде чем запустить исследование, необходимо определить все свойства материала, запрашиваемые соответствующим типом анализа и определенной

моделью материала. Модель материала описывает поведение материала и определяет требуемые свойства материала.

Для выбора материала детали используется команда «Применить материал» (рисунок 3).



Рисунок 3 – Иллюстрация панели SolidWorks Simulation

Крепления и нагрузки определяют условия среды модели. Каждое условие ограничения или нагрузки представлено значком в дереве исследования Simulation.

Для указания, как поддерживается модель, во вкладке «Консультант по креплению» выбирают необходимый тип установки («Фиксированная геометрия», «Ролик/скольжение» и др.).

Затем необходимо приложить нагрузки. Для этого во вкладке «Консультант по внешним нагрузкам» выбирают вид нагрузки («Сила», «Вращающий момент» и др.) и указывают ее значение, определенное при выполнении силового расчета моделируемого механизма.

После крепления элементов вала и приложения внешних нагрузок формируется сетка конечных элементов. Нажимаем «Запуск», «Создание сетки».

После выбора материалов, определения нагрузок, ограничений и создания сетки модели необходимо запустить исследование для расчета результатов. Для запуска исследования нажать правой кнопкой мыши его значок в дереве исследования Simulation и выбрать «Запустить» или нажать «Запустить» ы основной панели инструментов Simulation.

После запуска анализа программное обеспечение создает эпюры результатов, настраиваемые по умолчанию. Можно просматривать эпюру при двойном нажатии ее значка в дереве исследования Simulation или выбрать «Консультант по результатам».

Можно также определить другие эпюры, щелкнув правой кнопкой мыши на папке результатов и выбрав команду «Определить». При определении эпюры можно использовать справочные системы координат. Например, можно просматривать радиальные и касательные напряжения, выбирая ось при определении эпюры напряжений.

Построить необходимые эпюры и выполнить их анализ.

Конечным этапом выполнения раздела является формирование отчета, выполненного в среде SolidWorks Simulation.

#### 3.7 Построение 3D-модели сборки механизма

В данном разделе описывается поэтапное создание 3D-модели сборки механизма.

Для создания нового документа сборки выбрать «Файл», «Новый», шаблон «Сборка». В созданном документе сборки в менеджере свойств нажать «Обзор» и выбрать базовую деталь (вал или корпус).

Для добавления моделей остальных деталей выбрать «Вставить компоненты». При этом необходимо создать сопряжения, используя меню «Условия сопряжения» («Концентричность», «Совпадение» и др.).

Для добавления стандартных элементов (шпонки, подшипники и др.) в сборку используют программу «SolidWorks Toolbox», которая находится во вкладке «Продукты Office». В библиотеке проектирования последовательно выбрать «Toolbox», «Din», «Подшипники» или «Шпонки». Левой кнопкой мыши перетащить изображение выбранного элемента в область чертежа и указать его размеры. Создать необходимые сопряжения.

Пример 3D-модели механизма в сборе приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Пример 3D-модели механизма в сборе

#### 3.8 Заключение

В заключении курсовой работы обобщаются результаты проделанной работы, формулируются выводы и предложения, из которых должно быть ясно, что сделано, какие результаты получены, каким образом эти результаты могут быть использованы и что они дают. Итоги проведенного исследования соотносятся с целью и задачами исследований, сформированными во введении.

Выводы формулируются в строгой логической последовательности выполненной курсовой работы по разделам и подразделам. Выводы и предложения должны быть конкретными и иметь практическое назначение.

В заключении отражается использование новых методов моделирования машиностроительных объектов, а также моделирования динамики и анализа прочности деталей машин.

#### 3.9 Составление списка литературы

Список литературы должен включать источники информации (не менее 5), которые были использованы при написании курсовой работы. Обязательно присутствие источников, опубликованных в течение последних трех лет.

В тексте курсовой работы обязательно должны присутствовать ссылки на каждую запись в библиографическом списке.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003.

#### 3.10 Составление приложений

Приложения являются самостоятельной частью работы. В приложениях курсовой работы помещают материал, дополняющий основной текст. Приложения – дополнительный материал, необходимый для полноты восприятия основного материала (отчет, сформированный системой при выполнении прочностного анализа исследуемого изделия).

Объем приложений курсовой работы не регламентируется. Приложения оформляются в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

#### 4 Графическая часть работы

#### 4.1 Чертежи моделей деталей механизма

Чертежи моделей деталей должны содержать 2D- и 3D-модели.

2D-модели деталей должны соответствовать требованиям действующих стандартов ЕСКД.

Технические требования записываются в определенной последовательности:

– требования к материалу детали, заготовке и термической обработке;

– требования к качеству поверхности детали, покрытию, отделке, краске и др.;

– некоторые размеры с их допускаемыми предельными отклонениями от номинальных;

– отклонения формы и взаимного расположения поверхностей детали, не имеющие условных обозначений.

Заголовок «Технические требования» на чертеже не пишут.

Запись о неуказанных предельных отклонениях размеров записывают в следующем виде: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1–2002: H14, h14, ±IT14/2».

Последним пунктом записывают: «Остальные требования по СТБ 1014–95». Пример оформления чертежа моделей детали представлен на рисунке А.1.

#### 4.2 Чертеж 3Д-модели механизма в сборе

Пример оформления чертежа 3D-модели механизма в сборе приведен на рисунке Б.1.

## 4.3 Эпюры напряженно-деформированного состояния деталей механизма

Данный чертеж должен содержать эпюры напряжений, перемещений и деформаций.

Пример оформления чертежа представлен на рисунке В.1.

#### 4.4 Эпюры исследования движения

Чертеж должен содержать эпюры перемещения, скорости и ускорения, а также может включать эпюры силы и вращающего момента, или энергии и импульса.

Пример оформления чертежа представлен на рисунке Г.1.

#### 4.5 Обозначение чертежей

В курсовой работе принята следующая структура обозначения чертежей (рисунок 5).

КР	000.	00.	01
Курсовая	Номер группы	Шифр (две последниецифры	Номер
работа	(191, 192, 201,)	номера зачетной книжки)	чертежа

Рисунок 5 – Схема обозначения чертежей

Номера чертежей (последняя группа цифр) присваиваются следующим образом:

- чертежи моделей деталей механизма - 01...05;

- чертеж 3D-модели механизма в сборе – 06;

– эпюры напряженно-деформированного состояния деталей механизма – 10...11;

– эпюры исследования движений механизма – 20...21.

Таким образом, студент гр. ТМ-191, имеющий зачетную книжку № 071242, обозначает чертежи курсовой работы:

- КР.191.42.01 – 2D- и 3D-модели вала;

- КР.191.42.06 - 3D-модель редуктора.

В пояснительной записке на всех листах записывается обозначение детали и буквы ПЗ: КР.191.42.00 ПЗ.

Обозначение записывается в графе 2 и 26 основной надписи по ГОСТ 2.104–2006.

#### Список литературы

1 Берлинер, Э. М. САПР в машиностроении: учебник для вузов / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – Москва: ФОРУМ, 2011. – 448 с.

2 Алямовский, А. А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

3 Акулович, Л. М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении : учебное пособие для вузов / Л. М. Акулович, В. К. Шелег. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2016. – 488 с.

4 Основы автоматизированного проектирования: учебник / Под ред. А. П. Карпенко. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 329 с.

5 Шишов, О. В. Современные технологии и технические средства информатизации : учебник / О. В. Шишов. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 462 с.

6 Шишковский, И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения / И. В. Шишковский. – Санкт-Петербург: Питер, 2016. – 400 с.

7 Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М. А. Зленко. – Москва: НАМИ, 2015. – 342 с.

8 Тарасова, Т. В. Аддитивное производство: учебное пособие / Т. В. Тарасова. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 196 с.



Приложение А (справочное)

Рисунок А.1 – Образец 2D- и 3D-моделей вала













Приложение Г

