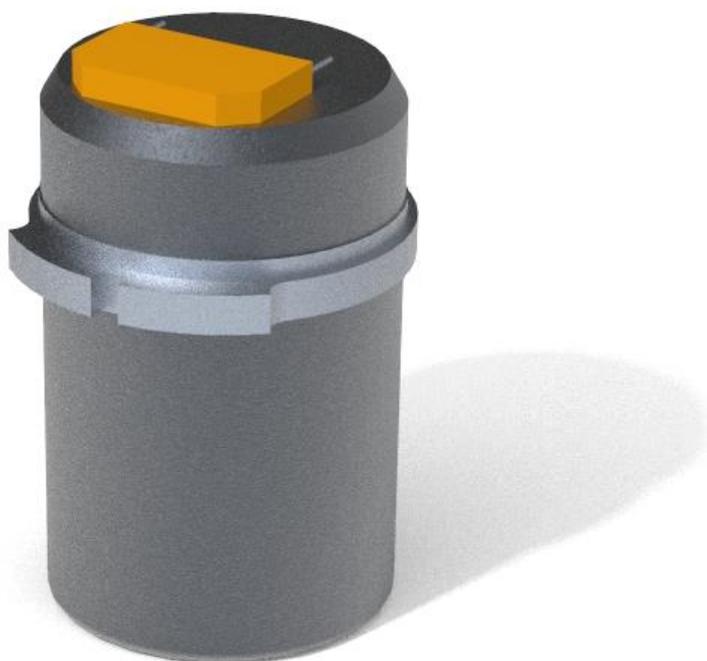


**М.И. Евстифеев, Д.П. Елисеев**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ 3D МОДЕЛЕЙ  
ЭЛЕМЕНТОВ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ**



**Санкт-Петербург  
2021**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**М.И. Евстифеев, Д.П. Елисеев**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ 3D МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ**  
**ИНЕРЦИАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО

по направлению подготовки

24.03.02 «Системы управления движением и навигация»

в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных  
образовательных программ высшего образования бакалавриата

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург  
2021

Евстифеев М.И., Елисеев Д.П. Проектирование 3D моделей элементов инерциальных модулей – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 115 с.

Рецензент(ы):

Грязин Дмитрий Геннадиевич, доктор технических наук, доцент, профессор (квалификационная категория "профессор практики") факультета систем управления и робототехники, Университета ИТМО.

Пособие разделено на две части. В первой части рассматриваются теоретические основы проектирования инерциальных модулей систем управления движением и навигации, стадии их разработки, даются базовые понятия о комплектности конструкторской документации, этапах разработки документации. Представлены общие сведения о системах автоматизации проектирования и приводятся их направления дальнейшего развития, включая цифровые двойники. Рассматриваются особенности и правила проектирования 3D моделей в программе Creo. Во второй части представлен лабораторный практикум, состоящий из трех работ. Первая работа посвящена созданию трехмерной модели и чертежа детали, вторая – созданию модели и чертежа сборочной единицы, третья – разработке модели и чертежей инерциального модуля. Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров – 24.03.02 «Системы управления движением и навигация» и выполняющих лабораторные работы по дисциплинам «Автоматизация проектирования гироскопических приборов (механика)», «Компьютерная и инженерная графика», «Системы автоматизированного проектирования».



**Университет ИТМО** – национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию – ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. – лидер Проекта 5–100.

© Университет ИТМО, 2021

© Евстифеев М.И., Елисеев Д.П., 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Список использованных сокращений .....	4
Введение.....	5
Часть 1. Теоретические основы проектирования конструкций .....	7
1. Основные этапы разработки конструкций .....	7
1.1. Общие вопросы конструирования .....	7
1.2. Стадии разработки конструкций.....	9
1.3. Виды изделий и комплектность документации.....	11
1.4. Обозначение конструкторских документов.....	12
2. Автоматизация проектирования.....	14
2.1. Определение САПР и САх.....	14
2.2. Этапы развития САх.....	16
2.3. Этапы развития САПР.....	19
2.4. Цифровой двойник.....	21
3. Особенности проектирования в программе Creo .....	24
3.1. Описание Creo .....	24
3.2. Особенности интерфейса программы Creo .....	26
3.3. Правила подготовки рабочего окружения .....	29
3.4. Правила наименования файлов .....	31
3.5. Правила разработки моделей деталей и сборочных единиц .....	32
3.6. Правила разработки чертежей .....	34
Часть 2. Лабораторный практикум.....	37
4. Разработка 3D моделей и чертежей деталей.....	37
4.1. Модель детали – не тела вращения.....	37
4.2. Модель детали – тела вращения.....	48
4.3. Чертеж детали .....	58
5. Разработка 3D моделей и чертежей сборочных единиц.....	71
5.1. Модель сборочной единицы .....	71
5.2. Чертеж сборочной единицы.....	77
6. Варианты заданий для самостоятельной работы.....	82
6.1. Задание №1 – Разработка 3D модели и чертежа детали .....	82
6.2. Задание №2 – Разработка 3D модели и чертежа сборочной единицы .....	90
6.3. Задание №3 – Разработка 3D моделей и чертежей гироскопического прибора .....	96
7. Требования к оформлению отчетных материалов .....	104
8. Техника безопасности .....	107
9. Контрольные вопросы .....	108
Список литературы .....	110
Стандарты ЕСКД.....	112

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

- CAD – Computer-Aided Design, компьютерное проектирование
- CAE – Computer-Aided Engineering, компьютерные расчеты
- CAM – Computer-Aided Manufacturing, компьютерная симуляция механообработки и генерация программ для станков с ЧПУ
- CAx – обобщенное название программ CAD, CAM, CAE
- PLM – Product Lifecycle Management, сопровождение жизненного цикла
- PDM – Product Data Management, управление данными об изделии
- ЕСКД – Единая система конструкторской документации
- КД – конструкторский документ (документы, документация)
- САПР – Система автоматизированного проектирования
- ЧПУ – Числовое программное управление

## **ВВЕДЕНИЕ**

Бурное развитие цифровых технологий во всех областях жизнедеятельности человечества затрагивает и такую область, как проектирование. Современные компьютерные САПР позволяют создавать качественные трехмерные объекты, которые полностью описывают как геометрические, так и физико-технические характеристики изделий. Это открывает широкие возможности по использованию таких объектов как при проектировании новых систем управления движением и навигации, так и в процессе технологической подготовки производства и изготовления. Использование трехмерного моделирования вносит решающий вклад в автоматизацию проектирования, позволяя на этапах разработки нового изделия проверить его компоновку, выполнить оптимизацию по заданным критериям, оценить эргономичность и внешний вид, а также провести все исследования поведения конструкции при различных внешних воздействиях (механических, тепловых, магнитных и пр.). Имеющиеся 3D модели являются основой для построения «цифровых двойников» (Digital Twin), представляющих собой цифровые копии физических объектов и используемых для оценки поведения изделий в процессе эксплуатации с целью повышения качества продукции. Подобные технологии позволяют построить полноценную и актуальную в каждый момент времени систему сопровождения жизненного цикла изделий, так называемую PLM систему.

Среди множества САПР можно выделить программу Creo (ранее известную как Pro/Engineer) компании PTC (США), которая является одним из лидеров в области компьютерных систем трехмерного проектирования. Большой спектр возможностей программы позволяет создавать конструкции любой сложности, что является немаловажным преимуществом при создании прецизионных инерциальных модулей для систем управления движением и навигации.

Настоящее пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 24.03.02 «Системы управления движением и навигация» и выполняющих лабораторные работы по дисциплинам «Автоматизация проектирования гироскопических приборов (механика)», «Компьютерная и инженерная графика», «Системы автоматизированного проектирования».

Цель пособия заключается в обучении основам использования программы Creo для разработки деталей, сборочных единиц и КД элементов инерциальных модулей систем управления движением и навигации. Пособие разделено на две части. Первая часть направлена на усвоение лекционного материала, представляемого по указанным дисциплинам. Во второй части приведен лабораторный практикум, содержащий три работы:

- 1) разработка 3D модели и чертежа детали;
- 2) разработка 3D модели и чертежа сборочной единицы;
- 3) разработка 3D моделей и чертежей гироскопического прибора.

Первая и вторая работа включают пошаговые примеры выполнения и описание заданий для самостоятельной работы. В результате выполнения работ студенты приобретают практические навыки владения инструментами программы Creo.

Третья работа обобщает материал первых двух и нацелена на развитие творческих навыков студентов. В ходе выполнения работы студентам предстоит самостоятельно разработать 3D модели и чертежи основных узлов гироскопического прибора в соответствии с заданными требованиями.

По каждой работе подготавливается отчет, по которому проходит защита.

# ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

## 1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ

### 1.1. Общие вопросы конструирования

Проектирование в целом и конструирование, в частности, как часть процесса проектирования, направлены на создание изделий различного назначения, в том числе систем управления движением и навигации и их инерциальных модулей. Конструирование связано с технологическими вопросами, вопросами производства, с техническими и научными дисциплинами. При конструировании используются такие технические дисциплины, как теория упругости и сопротивления материалов (расчеты прочности, жесткости, собственных частот), метрология (назначение допусков и измерение погрешностей взаимного расположения), материаловедение (выбор материалов, покрытия, оценка коррозионной стойкости) и многие другие.

При конструировании должны учитываться вопросы эргономического характера и технической эстетики. Необходимо учитывать экономические факторы конструирования, такие как ограничения экономических ресурсов, себестоимость конструкции, эффективность решений.

Процесс конструирования состоит в решении следующих основных задач:

1) *Создание структуры изделия*, включая определение формы, пропорций, взаимного расположения частей, поверхностей, степеней свободы, состава и взаимодействия компонентов.

2) *Обеспечение заданного состояния изделия*, включая расчеты собственных частот конструкции, уровня внутренних механических напряжений, моментов трения, износостойкости, оценку степени защищенности от внешних воздействий и пр.

Для решения первой задачи необходимо спроектировать конструкцию, отвечающую различным, зачастую противоречивым требованиям. Это могут

быть габаритные ограничения, требования к массе и инерционным характеристикам, немагнитные свойства, коррозионная стойкость, герметичность, прочность, минимизация тепловых деформаций, отсутствие механических резонансов конструкции и другие требования.

Для решения второй задачи проводят численное моделирование поведения полученной 3D модели при различных внешних эксплуатационных воздействиях. Это позволяет оценить состояние конструкции в разных условиях, при выявлении недостатков производится корректировка модели и структуры изделия. Такой итерационный процесс, выполняемый виртуально, позволяет получить работоспособное изделие с минимальными материальными затратами и с наилучшим качеством.

Разработка КД выполняется в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. ЕСКД представляет собой комплекс стандартов, устанавливающих правила, требования и нормы по разработке, оформлению и обращению КД, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделий.

Обозначение стандартов ЕСКД состоит из следующих разделов:

- индекс стандарта – ГОСТ,
- цифра 2 с точкой, присвоенная комплексу стандартов ЕСКД,
- цифра (после точки), обозначающей номер группы стандартов,
- двузначное число, определяющее порядковый номер стандарта,
- после тире две (до 2000 года) или четыре цифры, указывающие год утверждения стандарта.

Пример обозначения стандарта *ГОСТ 2.301-68 Форматы*

ГОСТ (индекс), 2. (ЕСКД), 3 (номер группы), 01 (порядковый номер), -68 (год утверждения).

В настоящем пособии используются понятия стандартов ЕСКД следующих классификационных групп:

Группа 0 – Общие положения,

Группа 1 – Основные положения,

Группа 2 – Классификация и обозначение изделий и конструкторских документов,

Группа 3 – Правила выполнения чертежей различных изделий.

## 1.2. Стадии разработки конструкций

При создании инерциальных модулей систем управления движением и навигации, как и любых других изделий, необходимо соблюдать последовательность разработки, которая регламентируется нормативными документами. Согласно *ГОСТ 2.103-2013 Стадии разработки*, этапы выполнения работ подразделяются на две основные стадии – разработка проектной КД и разработка рабочей КД.

В первую стадию включаются этапы проектирования, начиная с научных поисковых исследований и заканчивая формированием окончательного облика изделия. Стадия «Разработка проектной документации» включает этапы – техническое предложение, эскизный проект и технический проект.

Техническое предложение выполняется в соответствии *ГОСТ 2.118-2013 Техническое предложение*. На этом этапе проводится изучение и анализ технического задания, осуществляется подбор материалов, выполняются патентные исследования, определяются варианты возможных решений по разработке изделия, устанавливаются особенности вариантов и проводится их конструктивная проработка. Глубина проработки должна быть достаточной для сравнительной оценки рассматриваемых вариантов. Использование САПР позволяет в сравнительно сжатые сроки разработать большое количество конкурентоспособных вариантов и произвести их сравнительную оценку.

По существу, техническое предложение – это этап фундаментально-поисковых исследований для выбора дальнейшего направления работ по проектированию изделия. Заканчивается этап технического предложения рассмотрением и утверждением КД с присвоением литеры «П».

Техническое предложение после согласования и утверждения в установленном порядке является основанием для разработки эскизного и технического проектов.

Эскизный проект выполняется в соответствии с *ГОСТ 2.119-2013 Эскизный проект*. Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, которые должны содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия. Здесь также могут быть рассмотрены варианты возможных решений, производится выбор оптимального варианта и его проверка

на патентную чистоту и конкурентоспособность. Особое внимание уделяется оценке изделия по различным показателям: технологичности, метрологии (методы контроля, испытаний, анализа, измерений), стандартизации и унификации, надежности, эргономики и технической эстетики, техники безопасности и производственной санитарии. Стадия эскизного проекта заканчивается рассмотрением и утверждением КД с присвоением литеры «Э».

Технический проект выполняют в соответствии с *ГОСТ 2.120-2013 Технический проект*. Технический проект представляет собой совокупность конструкторских документов, которые должны содержать *окончательные* технические решения, дающие *полное* представление об устройстве разрабатываемого изделия. Здесь уже нет места вариативности, выполняется разработка конструктивных решений изделия и их расчетное обоснование. На данной стадии выполняется анализ конструкции изделия на технологичность, выявляется необходимое для производства изделий новое оборудование, разрабатывается метрологическое обеспечение (выбор методов и средств измерения), оценивается соответствие изделия эксплуатационным требованиям (взаимозаменяемость, удобство обслуживания, ремонтпригодность и др.), а также требованиям эргономики и технической эстетики, проводится согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров с заказчиком или основным потребителем.

Стадия технического проекта заканчивается рассмотрением и утверждением КД с присвоением литеры «Т», что является основанием для разработки рабочей конструкторской документации.

Стадия разработки рабочей КД включает следующие этапы работ:

- разработка КД, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца, без присвоения литеры;
- изготовление и предварительные испытания опытного образца;
- корректировка КД по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца с присвоением документам литеры «О»;
- приемочные испытания опытного образца;
- корректировка КД по результатам приемочных испытаний опытного образца с присвоением документам литеры «О1».

На всех этапах изготовления и испытаний фиксируются замечания к КД для ее последующей корректировки. Такая многоступенчатая система позволяет

повысить качество изготовления изделий и получить откорректированный комплект КД, по которому можно производить серийную продукцию.

### **1.3. Виды изделий и комплектность документации**

Изделием называется любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии в соответствии с КД. Согласно *ГОСТ 2.101-2016 Виды изделий*, изделия подразделяют на виды по следующим классификационным признакам:

- конструктивно-функциональные характеристики (деталь, сборочная единица, комплекс, комплект);
- назначение (основное или вспомогательное производство);
- разработка (собственное производство, покупные, кооперированные или заимствованные изделия);
- структура (специфицированные или неспецифицированные);
- стандартизация (оригинальные, унифицированные или стандартизованные).

В настоящем пособии рассматриваются два вида изделий, классифицируемые по конструктивно-функциональным характеристикам – деталь и сборочная единица.

*Деталь* – изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций.

*Сборочная единица* – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием, сшивкой, укладкой и т.д.). В общем случае сборочная единица может содержать несколько деталей и сборочных единиц, соединенных при изготовлении.

Для полного описания изделия существует большое количество видов конструкторских документов, регламентируемых *ГОСТ 2.102-2013 Виды и комплектность конструкторских документов*. Всего на всех этапах проектирования изделий может быть разработано более 30 видов документов, включая чертежи деталей, сборочные чертежи, чертеж общего вида, габаритный чертеж, схемы, монтажный и электромонтажный чертежи, различные ведомости

(спецификаций, ссылочных документов, покупных изделий), инструкции, технические условия и т.д.

В этом стандарте описываются такие виды документов, как *электронная модель детали* и *электронная модель сборочной единицы*. Чертеж детали представляет собой документ, содержащий изображение детали и данные для ее изготовления и контроля. *Электронная модель детали*, в отличие от чертежа, является документом, дополнительно содержащим электронную геометрическую 3D модель детали с заданными физико-механическими характеристиками. Аналогично сборочный чертеж содержит изображение сборочной единицы и данные для ее изготовления, а *электронная модель сборочной единицы* дополнительно содержит электронную геометрическую 3D модель составных частей и полностью может заменить сборочный чертеж.

При разработке КД необходимо знать такое понятие, как комплектность КД. При определении комплектности КД следует различать основной КД, основной комплект КД и полный комплект КД.

Основной КД изделия в отдельности или в совокупности с другими КД полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав.

Основными КД являются:

- для деталей – чертеж детали или электронная модель детали;
- для сборочных единиц – спецификация или электронная структура.

Основной комплект КД объединяет КД, относящиеся ко всему изделию (составленные на все данное изделие в целом).

Полный комплект КД составляют из основного комплекта КД изделия и основных комплектов КД на все примененные в нем составные части.

#### **1.4. Обозначение конструкторских документов**

Обозначение КД, в частности чертежей, определяется *ГОСТ 2.201-80 Обозначение изделий и конструкторских документов*.

Структура обозначения показана на рисунке 1.1 и состоит из кода организации (4 знака, как правило, буквы), кода классификационной характеристики (6 знаков) и порядкового номера (3 знака).

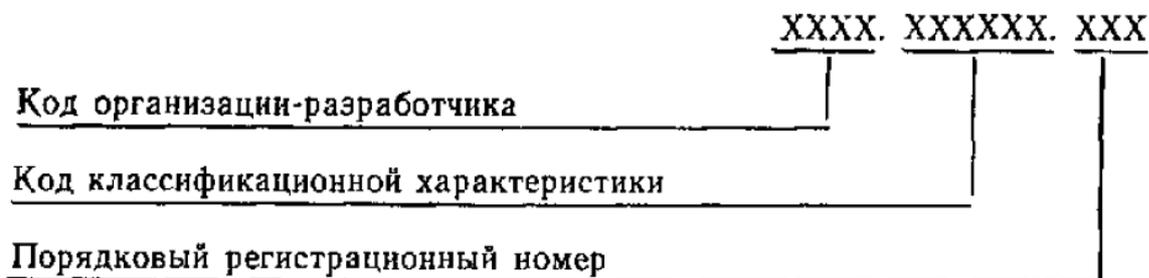


Рисунок 1.1 – Структура обозначения конструкторского документа.

Код классификационной характеристики выбирается из общероссийского классификатора изделий и конструкторских документов ОК 012-93 (классификатор ЕСКД). По этому классификатору в зависимости от назначения и конфигурации устройства или детали выбирают определенную характеристику. Например, средства и приборы для измерения параметров движения имеют подкласс 402, что отражается в обозначении документа как, например. АБВГ.402000.000.

При обозначении сборочного чертежа в конце номера добавляются буквы СБ

В части 2 настоящего пособия для обозначения чертежей используется следующая система обозначений.

**Код организации-разработчика** – ИТМО.

**Код классификационной характеристики** состоит из пяти цифр номера группы и номера задания (1, 2 или 3).

**Порядковый регистрационный номер** состоит из двузначного номера варианта и порядкового номера детали или сборочной единицы, разрабатываемой в рамках задания.

*ПРИМЕРЫ ОБОЗНАЧЕНИЯ*

1) Группа 34301, задание №1, вариант №17:

ИТМО.343011.171.

2) Группа 34301, задание №2, вариант №2:

ИТМО.343012.021;

ИТМО.343012.021СБ.

3) Группа 34301, задание №3, вариант №7, деталь №3:

ИТМО.343013.073.

## 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 2.1. Определение САПР и САх

Современное конструирование тесно связано с использованием вычислительной техники и САПР. *ГОСТ 22487—77 Проектирование автоматизированное. Термины и определения* устанавливает определения значения САПР как совокупность различных видов автоматизированного проектирования, взаимосвязанных с необходимыми подразделениями проектной организации. При этом виды автоматизированного проектирования бывают следующими:

- технический;
- математический;
- программный;
- информационный;
- лингвистический;
- методический;
- организационный.

Таким образом, согласно ГОСТ, к САПР, помимо традиционно понимаемых под этим определением программных продуктов (PTC Creo Parametric, Аскон Компас-3D, Autodesk AutoCAD и пр.), можно отнести совершенно любые программные продукты, в том числе Microsoft Office, Adobe Photoshop, различные мессенджеры, а также стандарты организации и инструменты управления ее бизнес-процессами и жизненным циклом изделий.

Учитывая, что САПР относится к бурно развивающейся во всем мире IT-индустрии, знание его правильного перевода на английский язык является жизненно необходимым для молодого специалиста. Принято считать, что перевод САПР – это CAD. Однако, наряду с CAE, CAM и др. CAD является лишь обозначением типа программного обеспечения, описание которых приведено в таблице 2.1

Из представленных в таблице 2.1 примеров хорошо видно, что современный уровень развития программных продуктов позволяет разрабатывать multifunctional системы. Так, Creo является CAD/CAE/CAM-системой и позволяет выполнять законченный цикл разработки изделия: разрабатывать

трехмерные модели и КД изделий, проводить различные расчеты, оптимизировать изготовление и экспортировать модели непосредственно на станки с ЧПУ.

Таблица 2.1 – Описание систем

Тип системы	Назначение	Примеры
CAD	Позволяет получить полное геометрическое описание проектируемых деталей и сборочных единиц и определить структуру изделия	PTC Creo Parametric, Аскон Компас-3D, Autodesk AutoCAD, Siemens NX, Dassault CATIA и др.
CAE	Используется для расчетов состояния конструкции в процессе эксплуатации и позволяют провести расчеты изменений параметров изделия. К последним относятся возникающие механические напряжения и деформации под действием статических и динамических инерционных нагрузок (вибраций и ударов), тепловые деформации и возникающие градиенты температур, реакция на акустические помехи и электромагнитные воздействия	PTC Creo Simulate, Ansys, CAE Fidesys, COMSOL Multiphysics и др.
CAM	Позволяет моделировать изготовление на станках с ЧПУ или аддитивным способом, определять оптимальные траектории инструмента, конструировать пресс-формы и технологическую оснастку, программировать станки.	PTC CAM Creo, Fusion360, Vectric/Aspire, Mastercam и др.

Для обобщения программных продуктов, выполняющих разную функцию, в англоязычной терминологии используется термин CAx. Учитывая

установленное ГОСТ определение, можно утверждать, что именно эта аббревиатура является наиболее близким по смыслу переводом отечественного термина САПР.

## 2.2. Этапы развития САх

Историю развития САх-систем можно достаточно условно разбить на три основных этапа.

В ходе **первого этапа** получен ряд научно-практических результатов, доказавших принципиальную возможность проектирования сложных промышленных изделий. Его начало связывают с разработкой в 1951 г. в Массачусетском технологическом институте (MIT) компьютера на вакуумных трубках «Whirlwind» (рисунок 2.1). Сам компьютер занимал площадь более 195 м<sup>2</sup>, однако для его функционирования требовались аналогичные площади вспомогательного оборудования и аппаратуры подготовки электроэнергии. «Whirlwind» был первым в своем роде компьютером, использующим записывающие устройства на магнитных сердечниках и позволяющим проводить параллельные вычисления в реальном времени. Последнее послужило основой для создания графических приложений, в том числе САх-систем.



Рисунок 2.1 – Фрагмент компьютера «Whirlwind»

На базе «Whirlwind» группа исследователей под руководством Дугласа Т. Росса (Douglas T. Ross) в 1953 г. занималась разработкой автоматизированной системы противовоздушной обороны США «SAGE». В ходе выполнения работ

они создали подпрограмму, содержащую библиотеку электронных символов и геометрических фигур и позволяющую заменять, вращать и масштабировать символы для построения простейших диаграмм и гистограмм. В 1959 г. Дуглас Т. Росс впервые ввел термин CAD как инструмент сокращения затрачиваемых на проектирование времени и ресурсов, за счет использования возможностей невероятно точной и быстрой современной обработки данных, а также доступного и надежного хранилища информации.

В 1963 Айвэн Сатэрлэнд (Ivan Sutherland) защищает докторскую (PhD) диссертацию в MIT по разработанной им системе «SKETCHPAD» (рисунок 2.2), являющейся программным обеспечением, связывающим монитор и световую ручку. Это изобретение позволило автоматизировать процесс разработки эскизов и чертежей и является первым в мире примером графического интерфейса пользователя (GUI).

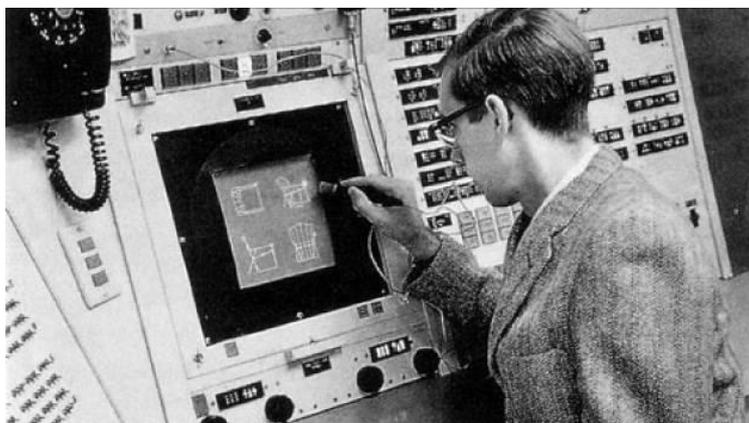


Рисунок 2.2 – Айвэн Сатэрлэнд и «SKETCHPAD»

В 1968 г. инженер автокомпании «Renault» Пьер Безье (Pierre Bézier) разработал первую CAD/CAM-систему «UNISURF», облегчающую процесс изготовления деталей и инструмента для производства автомобилей. «UNISURF» стала основой для последующих поколений аналогичных систем.

Незадолго до появления «Whirlwind» – в 1940-х годах, благодаря необходимости решать сложные задачи анализа прочности и упругости конструкций гражданской и военной техники, начал свое развитие метод конечных элементов. Настоящее развитие метод получил после 1968 г., когда вышла в свет первая версия CAE-системы «NASTRAN» (акроним от «NASA STRucture ANalysis», с 2007 г. внедрена в «Siemens NX»), разработанной для эффективного проектирования и оптимизации конструкции Шаттла. Инженерные

расчеты в этой системе реализовывались при помощи написания программ на перфокартах и загрузке их в высокопроизводительные мейнфреймы.

В 1970 г. Джон Свансон (John Swanson) основывает фирму «Swanson Analysis Systems Inc» (SASI), которая через год начинает выпускать САЕ-систему «ANSYS».

Во время **второго этапа** (1980-е – 1990-е годы) появились и начали быстро распространяться САх-системы массового применения. Возможности первых CAD-систем ограничивались созданием чертежей, аналогичных «ручным». При этом сами системы работали на графических терминалах, присоединенных к мейнфреймам производства компаний «IBM» и «Control Data», или же мини-ЭВМ «DEC PDP-11» и «Data General Nova». Большинство таких систем предлагали фирмы, продававшие одновременно аппаратные и программные средства. Развитие приложений для проектирования шаблонов печатных плат и слоев микросхем сделало возможным появление схем высокой степени интеграции (на базе которых и были созданы современные высокопроизводительные компьютерные системы). Таким образом, развитие САх-систем привело к совершенствованию вычислительной техники, которая позволила расширить возможности САх – «дилемма яйца и курицы» в цифровом мире.

В течение 1980-х годов был осуществлен постепенный перевод CAD-систем с мейнфреймов на персональные компьютеры, которые работали быстрее и к тому же были дешевле. Это позволило расширить проектную деятельность с уровня электронных кульманов до твердотельного моделирования. Так в 1981 г. выпущены первые версии систем «UniSolids» (с 2007 г. переименована в «Siemens NX») и «CATIA», в 1987 г. – Pro/ENGINEER (с 2011 г. переименована в «CREO»), в 1995 г. – «SolidWorks», а в 1999 г. – «Autodesk Inventor». В 1979 г. вышел второй релиз САЕ-системы «ANSYS», адаптированный для персональных компьютеров.

**Третий этап** развития САх-систем (с начала 2000-х годов до настоящего времени) характеризуется совершенствованием их функциональности и дальнейшим распространением в высокотехнологичных производствах, где они лучше всего продемонстрировали свою эффективность.

Основные направления развития CAD-систем – это упрощение взаимодействия пользователя с системой и снижение стоимости программного продукта. Первое направление реализуется за счет разработки интуитивно-

понятных интерфейсов (как правило, «плиточных»), в том числе с применением средств дополненной реальности, и предугадывания действий пользователя, а второе – за счет повышения предложений на рынке САD-систем. В начале 1980-х стоимость одной лицензии доходила до \$90 000, к концу 1980-х годов она снизилась до \$20 000, а к концу 1990-х годов уже до \$6 000. На сегодняшний день количество всевозможных САD-систем зашкаливает, они разрабатываются под различные операционные системы, в том числе и под мобильные – Android и iOS. В результате одна лицензия PTC Creo сегодня стоит уже \$3 000, при этом существуют и свободно распространяемые продукты, например, «LibreCAD» или «FreeCAD». Несмотря на такое разнообразие, принципы и логика работы во всех САD системах идентичны: освоив одну, освоить другие не составит труда.

Современное развитие САЕ-систем направлено на разработку более мощных решателей, лучшее использование компьютерных ресурсов и применение инженерных знаний в области предварительной и последующей обработки результатов моделирования. Но самое главное направление – это расширение области решаемых задач. Первые версии системы «ANSYS» были заточены на линейные задачи прочности конструкций и механики деформируемого тела. Последние версии этой системы обеспечивают решение так же задач магнетизма, термо-, газо- и гидродинамики, оптики, фотоники, химических реакций и др. При этом задачи могут затрагивать несколько областей (мультифизика) и включать нелинейные и нестационарные процессы.

Развитие САМ-систем, в основном, связано с появлением новых обрабатывающих станков и новой производственной техники. При этом для их освоения требуется высокий уровень подготовки операторов станков с ЧПУ как в области прикладного программирования, так и в области обработки деталей. В этой связи образуются трудности на биржах труда по всему миру, связанные с недостаточной квалификацией работников рабочих специальностей и нежеланием инженеров заниматься производственной деятельностью.

### **2.3. Этапы развития САПР**

Ввиду ограниченности использования в СССР вычислительной техники, широкого распространения САПР не получили, а их разработки велись под конкретные задачи, в основном, в закрытых научно-исследовательских институтах и, в меньшей степени, в высших учебных заведениях. Так, в 1960-е

годы появляются программы проектирования печатных плат, оформления КД, логического и схемотехнического моделирования радиоэлектронной аппаратуры и интегральных схем. Примерами таких САПР являются «Аврора», ЕСАП, «Граф 2Д», «Рапира», «Киев-1052». Большая часть аналогичных программ осталась безымянной, их описания утеряны или хранятся в архивах предприятий, а поддержка прекращена десятилетия назад.

В конце 1980-х – начале 1990-х годов отток из страны специалистов всех областей, в том числе и IT-сферы, существенно затормозил развитие САПР. Тем не менее, в 1989 г. основана фирма «Аскон», которая с того же года начинает выпуск САПР «Компас», предназначенной для двухмерного проектирования, а объемное проектирование стало доступным только в 2000 г. Сегодня САПР «Компас» включает в себя решения, адаптированные для машиностроения и строительства (CAD), а также для управления производством (CAM) и проектами (PDM и PLM).

С середины 1990-х годов начинают свое развитие еще две САПР – «ADEM» и «T-Flex CAD», обе из которых существуют до сих пор и занимают свою нишу на отечественном рынке. Современный функционал первой системы схож с «Компас» и включает в себя плоское и объемное проектирование изделий (CAD), подготовку их для производства (CAM) и управление данными об изделии (PDM). Функционал «T-Flex CAD» отличается от аналогов отсутствием модулей CAM, PDM, PLM, что компенсируется встроенным решателем прочностных задач методом конечных элементов (CAE).

Большой вклад в развитие метода конечных элементов внес советский ученый Л. А. Оганесян. На основе предложенных им и его учениками алгоритмов был создан пакет прикладных программ по решению задач тепломассопереноса, который использовался вычислительными центрами различных предприятий Ленинграда. Судьба этого пакета аналогична судьбе многих других САПР советской разработки. В результате только с 2009 года компания «Фидесис» разрабатывает САПР «Fidesys», предназначенный для проведения прочностных расчетов методом конечных элементов (CAE).

Проводя аналогию этапности развития САХ и стадий развития САПР, можно утверждать, что последние отстают на 10–15 лет. Тем не менее, этот разрыв стремительно сокращается в условиях парадигмы импортозамещения, активно продвигаемой со второй половины 2010-х годов.

## 2.4. Цифровой двойник

Второй этап развития САх напрямую связан с третьей (цифровой) промышленной революцией, обусловленной переходом от аналоговой техники к цифровой и появлением персональных компьютеров. Несмотря на то, что до сих пор границы третьей промышленной революции не устоялись, в 2011 году возникло определение уже четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0), как средства повышения конкурентоспособности обрабатывающей промышленности Германии через усиленную интеграцию киберфизических систем в заводские процессы. Очень скоро это определение обобщилось до мирового масштаба и стало включать не только цифровое производство, но и цифровую экономику, цифровое государство, цифровой быт.

Идея Индустрии 4.0 заключается в следующем. Все устройства должны быть объединены в одну сеть, называемую интернетом вещей (Internet of Things, IoT), в которой они обмениваются данными. Так, например, мобильный телефон может сообщить на предприятие-изготовитель об окончании своего ресурса. На предприятии будет изготовлена его точная копия или более совершенная модель, установлены все настройки пользователя, а также используемое им программное обеспечение. После чего новый мобильный телефон отправляется к своему владельцу, который начинает им пользоваться, не замечая замены. Вместо мобильного телефона концепция Индустрии 4.0 может быть распространена на любое изделие: бытовую технику, автомобиль, военный или гражданский самолет.

На сегодняшний день четвертая промышленная революция – лишь прогнозируемое событие, для свершения которого необходимо выполнение ряда условий, одним из которых является изменение принципов проектирования и внедрение цифровых двойников.

Цифровой двойник – это семейство сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным объектам (материалам, конструкциям, машинам, приборам, техническим и киберфизическим системам, физико-механическим процессам, включая технологические и производственные процессы), описываемое нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных. Высокий уровень адекватности означает, что цифровой двойник должен обеспечивать отличие между результатами виртуальных и натуральных испытаний

не более 5%. В случае, если это отличие больше, то речь идет не о цифровом двойнике, а о математической модели, независимо от ее сложности и мультидисциплинарности. Такие модели создаются в рамках традиционного итерационного подхода – «проектирование и доводка изделий через многочисленные и дорогостоящие испытания».

Одна из задач цифрового двойника – это давать ответы на следующие вопросы: «Где измерять?» и «Что измерять?». Другими словами, указать критические зоны, в которых при проектировании изделия необходимо разместить датчики, и типы этих датчиков (например, деформации, температуры, давления, виброперемещения, виброускорения и т. д.). Еще одна задача цифрового двойника, вытекающая из предыдущей – это хранить, обрабатывать, передавать и защищать большие объемы информации, вырабатываемые как изделием, так и установленными в нем датчиками.

Принципиально важно цифровые двойники отличать от цифровых теней, которые представляют собой системы связей и зависимостей, приближенно описывающих поведение реального объекта, как правило, в штатных условиях работы и содержащихся в избыточных больших данных, которые получают при помощи большого количества датчиков. Таким образом, цифровая тень способна предсказать поведение реального объекта только в тех условиях, в которых осуществлялся сбор данных. В то же время цифровой двойник позволяет не только адекватно описывать поведение реального объекта в штатных условиях работы, но и моделировать различные непредвиденные ситуации их нарушений, ранее не наблюдаемые.

Основные преимущества использования при проектировании цифровых двойников заключаются в следующем.

1. Обеспечивается неоспоримое конкурентное преимущество за счет возможности гибко реагировать на внешние изменения.

Это достигается за счет использования многоуровневой матрицы, содержащей десятки тысяч целевых показателей и ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных и т. д.). Такая матрица является неотъемлемым элементом разработки и применения цифровых двойников и предназначена для осуществления «балансировки» огромного количества конфликтующих параметров и характеристик объекта в целом, его компонентов и деталей в отдельности, то есть не только отслеживать их взаимное влияние на различных этапах жизненного цикла, но и в кратчайшие сроки

вносить необходимые изменения и уточнения. Таким образом, цифровой двойник способен ответить на вопрос «Какие параметры в ходе разработки следует изменить, чтобы удовлетворить требованиям технического задания».

2. При разработке изделий большее внимание уделяется проведению цифровых испытаний вместо натуральных.

«Цифровая сертификация» – специализированный бизнес-процесс, целью которого является прохождение с первого раза всего комплекса конструкторских, исследовательских, предварительных, приемо-сдаточных, сертификационных и прочих испытаний. Разработка изделия в рамках этого бизнес-процесса с самого начала ведется на основе лучших в своем классе технологий системного инжиниринга, многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений, валидации математических моделей и цифровых двойников и, самое главное, – выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний для каждой детали или сборочной единицы на виртуальных стендах. Этот подход во многих случаях позволяет контролировать и управлять поведением каждого кубического миллиметра конструкции на всех этапах жизненного цикла, задавая, например, зоны программируемого динамического разрушения или проектируя оптимальные конструкции минимального веса, с заданным ресурсом, с жесткими ограничениями по срокам и стоимости разработки. Так, за последние 10 лет у лидеров мирового автомобилестроения произошло радикальное изменение соотношения числа натуральных и виртуальных испытаний: если в 2007 году соотношение было 1 к 1, то в 2017 году – уже 1 к 6 000!

Очевидно, что создание цифровых двойников невозможно без применения специализированного программного обеспечения. За рубежом можно выделить 11 фирм, ведущих разработки программного обеспечения для поддержки интернета вещей: Amazon Web Services, Ayla Networks, Cisco Jasper, Exosite, General Electric, IBM, LogMeIn, Microsoft, PTC, SAP и Zebra Technologies. В России такие разработки ведутся в Санкт-Петербургском Политехническом университете им. Петра Великого, где создана специализированная цифровая платформа «CML-Bench». Эта платформа обеспечивает глубокое взаимодействие десятков разнообразных CAD и CAE систем мирового уровня, используемых в инженерно-конструкторских разработках, обеспечивает возможность одновременного выполнения десятков наукоемких и высокотехнологичных проектов.

### 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРОГРАММЕ CREO

#### 3.1. Описание Creo

Creo является САD-системой, которая позволяет создавать как твердотельные, так и различного рода вспомогательные модели. Твердотельные модели – это трехмерные модели сборочных единиц и деталей. Вспомогательная модель не содержит твердотельных компонентов, а состоит из различного рода каркасов, оболочек, осей, плоскостей и прочих элементов, облегчающих процесс проектирования.

Идеологически проектирование изделий в Creo является нисходящим, при котором последовательность операций следующая:

- 1) разработка основного файла, содержащего конструктивные параметры изделия: масса, габаритные и присоединительные размеры;
- 2) разработка вспомогательной модели изделия, использующей параметры, которые записаны в основном файле;
- 3) разработка дополнительных вспомогательных моделей сборок, имеющих фиксированное расположение в изделии;
- 4) разработка твердотельных моделей деталей и сборок, имеющих фиксированное положение в каркасной модели;
- 5) разработка чертежей деталей, сборок и изделия.

Противоположный тип проектирования – восходящий, при котором приведенная последовательность выполняется в обратном порядке. Другими словами, при восходящем проектировании сначала разрабатываются чертежи деталей, на основании которых строятся модели деталей, сборок и изделия. В этом случае использование дополнительных моделей не является необходимым.

Основные преимущества нисходящего проектирования заключаются в следующем:

- 1) твердотельная модель законченного изделия не изменяется при изменении размеров отдельных деталей;
- 2) при помощи вспомогательных моделей упрощается распределение работы над изделием по разным исполнителям;
- 3) разработка трехмерных моделей предшествует разработке чертежа.

Нисходящее проектирование является основным при создании новых изделий, когда вначале создается предварительная структура изделия и задаются

его внешние габариты. В процессе проектирования в рамках заданных ограничений создаются сборки, детали и, как финальная часть, – разработка рабочей КД в виде чертежей. Восходящее проектирование находит применение при создании компьютерных моделей существующих приборов на основе бумажных чертежей.

На сегодняшний день нисходящее проектирование не является новым, и практически все САД-системы его поддерживают. Тем не менее, Creo была одной из первых систем, построенных по такому принципу, что обеспечило ей статус специализированного профессионального программного обеспечения.

Автоматизация проектирования в Creo означает, что при проектировании большое внимание уделяется параметрам, которые могут быть либо заданы пользователем, либо определены самой системой. Одним из параметров, определенных системой, является визуальное отображение проектируемого изделия: при изменении внешнего вида трехмерной модели детали *автоматически* меняется ее отображение как в трехмерной модели сборочной единицы, так и на чертежах как детали, так и сборочной единицы.

Еще один характерный пример автоматизации проектирования – это возможность определения значения размеров деталей через:

- стандартизованные таблицы, запрограммированные в системе;
- уравнения, запрограммированные пользователем;
- прямую зависимость от других размеров детали.

Последние два пункта означают, что при изменении одного размера (или другого параметра) *автоматически* меняются все размеры (параметры), связанные с первым.

Опыт использования Creo в АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» с 1998 года позволяет сформулировать перечень недокументированных правил, которые облегчают процесс создания и редактирования моделей систем управления движением и навигации. Ниже приведены правила, использование которых:

- уменьшает количество ошибок, возникающих при выгрузке моделей в PLM Windchill;
- упрощает передачу разработанного изделия от исполнителя к исполнителю для дальнейшего сопровождения в производстве;
- облегчает создание программы для станков с ЧПУ.

## 3.2. Особенности интерфейса программы Creo

Интерфейс окна Creo (рисунок 3.1, а) различается в зависимости от выполняемой операции – создание модели детали (рисунок 3.1, б), сборочной единицы (рисунок 3.2, а), чертежа (рисунок 3.2, б). Кроме того, каждый вариант окна может быть изменен по желанию пользователя. Для примера, на рисунке 3.3 приведен вариант измененного интерфейса.

На рисунках 3.1 – 3.3 приняты следующие обозначения: 1 – Управление файлом; 2 – Редактирование модели; 3 – Ориентация модели; 4 – Отображение модели; 5 – Отображение базовых элементов; 6 – Создание базовых элементов; 7 – Создание аннотаций; 8 – Создание объемов; 9 – Параметрическое редактирование; 10 – Детализация объемов; 11 – Дерево модели; 12 – Поле создания модели (чертежа); 13 – Сборочные операции; 14 – Создание чертежа; 15 – Дерево чертежа; 16 – Макросы; 17 – Управление активным окном.

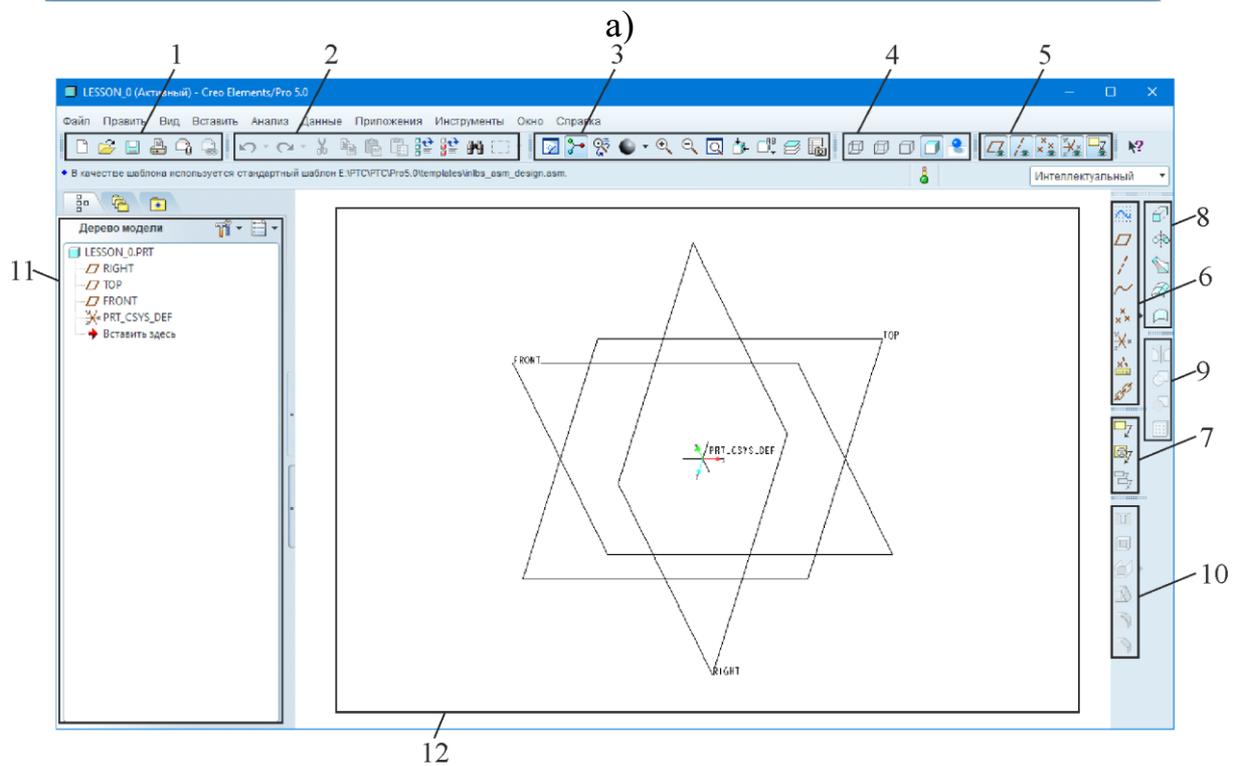
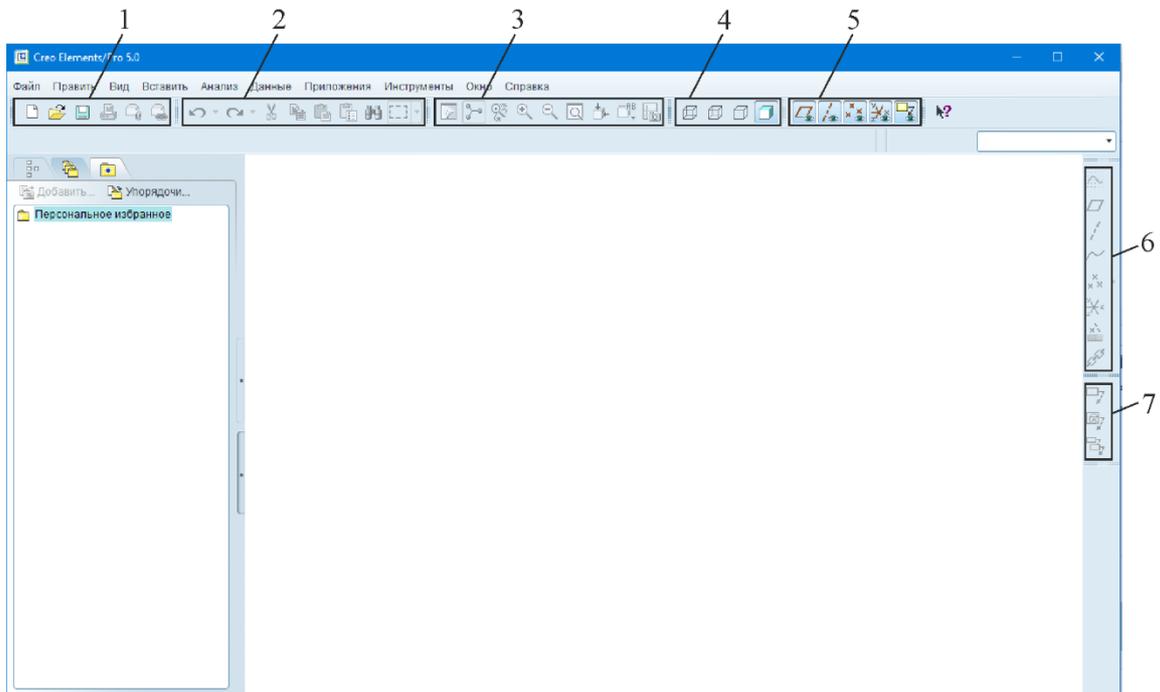
Настройке интерфейса подлежат следующие параметры:

- цвет окна и панели инструментов;
- количество команд и макросов;
- расположение команд и макросов;
- расположение дерева модели.

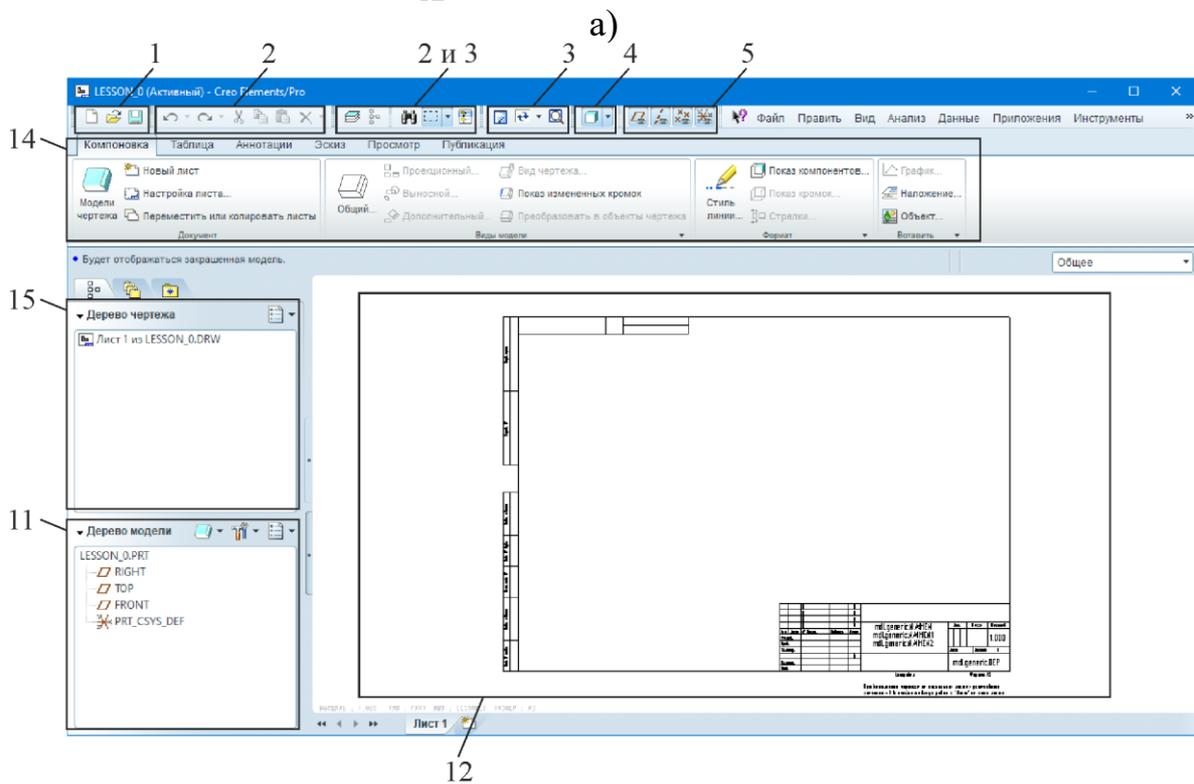
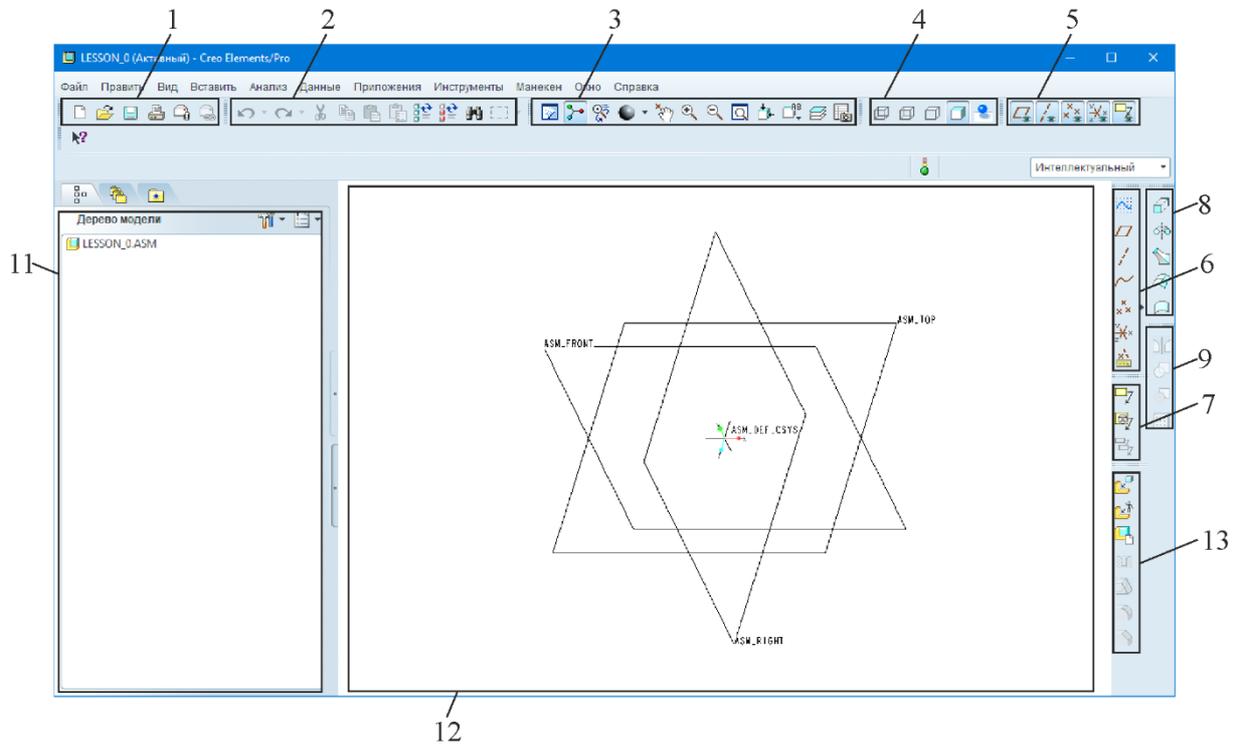
Для сохранения внесенных в интерфейс изменений они должны быть записаны в файл «Директория\_установки\_Creo\text\config.win».

Прочие настройки Creo записываются в файл «Директория\_установки\_Creo\text\config.pro». К таким настройкам относятся:

- макросы;
- системные пути к стандартным компонентам (моделям);
- системные пути к базам данных по ГОСТ;
- системные пути к файлам моделей «по умолчанию» (стартовым моделям);
- системные пути к настройкам подсистемы проверки правильности разработки моделей (model check);
- настройки режимов создания моделей деталей, сборочных единиц, чертежей, проведения расчетов.



а)  
 б)  
 Рисунок 3.1 – Окно Сгео при открытии программы (а) и при создании модели детали (б)



б)

Рисунок 3.2 – Окно Creo при создании модели сборочной единицы(а) и при создании чертежа (б)

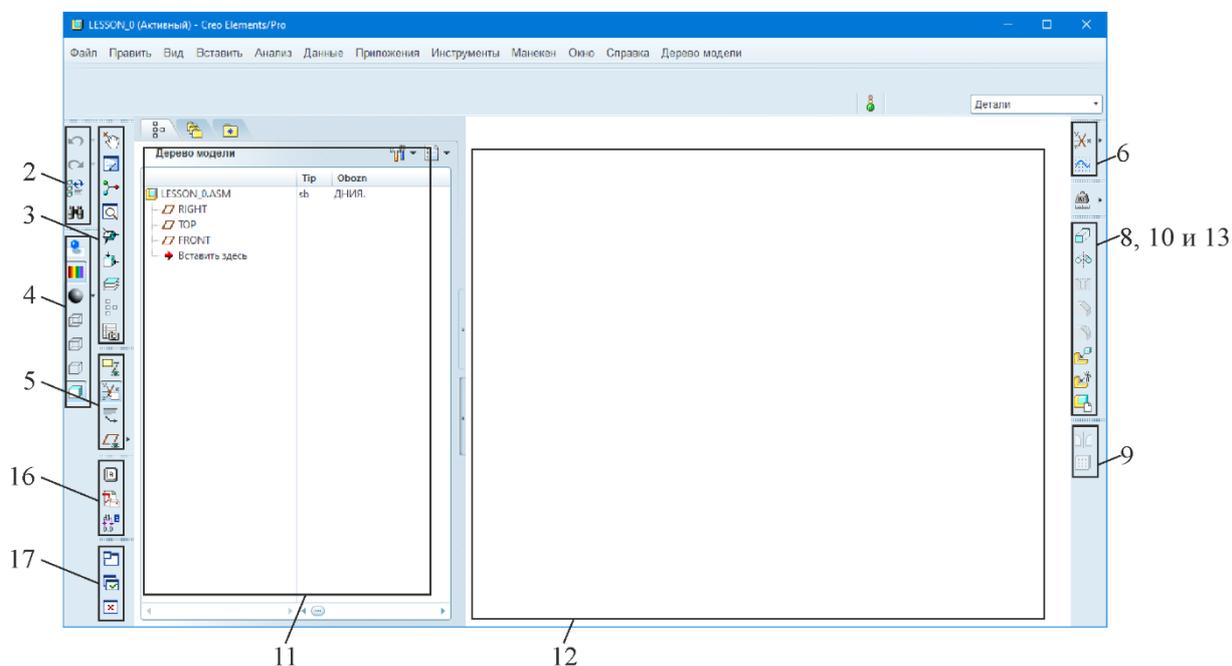


Рисунок 3.3 – Измененное окно Creo при создании модели сборочной единицы

Система Creo может быть настроена в соответствии с требованиями любого пользователя и на работу в любой системе стандартов (ГОСТ, ISO, MIL). Для выполнения заданий в соответствии с частью 2 настоящего пособия необходимо использовать пакет настроек версии не ниже «1.1а».

### 3.3. Правила подготовки рабочего окружения

Файл «Директория\_установки\_Creo\text\config.pro» содержит в себе базовые настройки Creo, а их вызов осуществляется автоматически при запуске системы. При этом Creo поддерживает мультипроектный режим, при котором используются разные наборы настроек под разные проекты. Для организации такого режима под каждый проект создается отдельный ярлык запуска Creo, а в его свойствах настраивается поле «Рабочая папка» (рисунок 3.4).

После запуска Creo при помощи ярлыка с настроенной рабочей папкой происходит чтение макросов, настроек и системных путей из файла «Директория\_установки\_Creo\text\config.pro». Затем при наличии файла «Рабочая\_папка\config.pro» происходит чтение аналогичных параметров из него. При этом происходит объединение системных путей в единый перечень, а настройкам и макросам присваиваются значения из последнего файла в случае их повторения. Блок-схема настройки Creo приведена на рисунке 3.5.

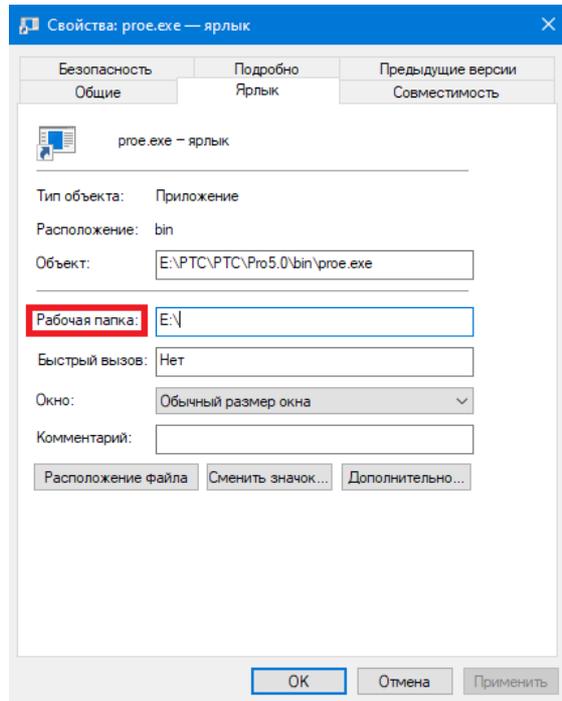


Рисунок 3.4 – Настройка ярлыка

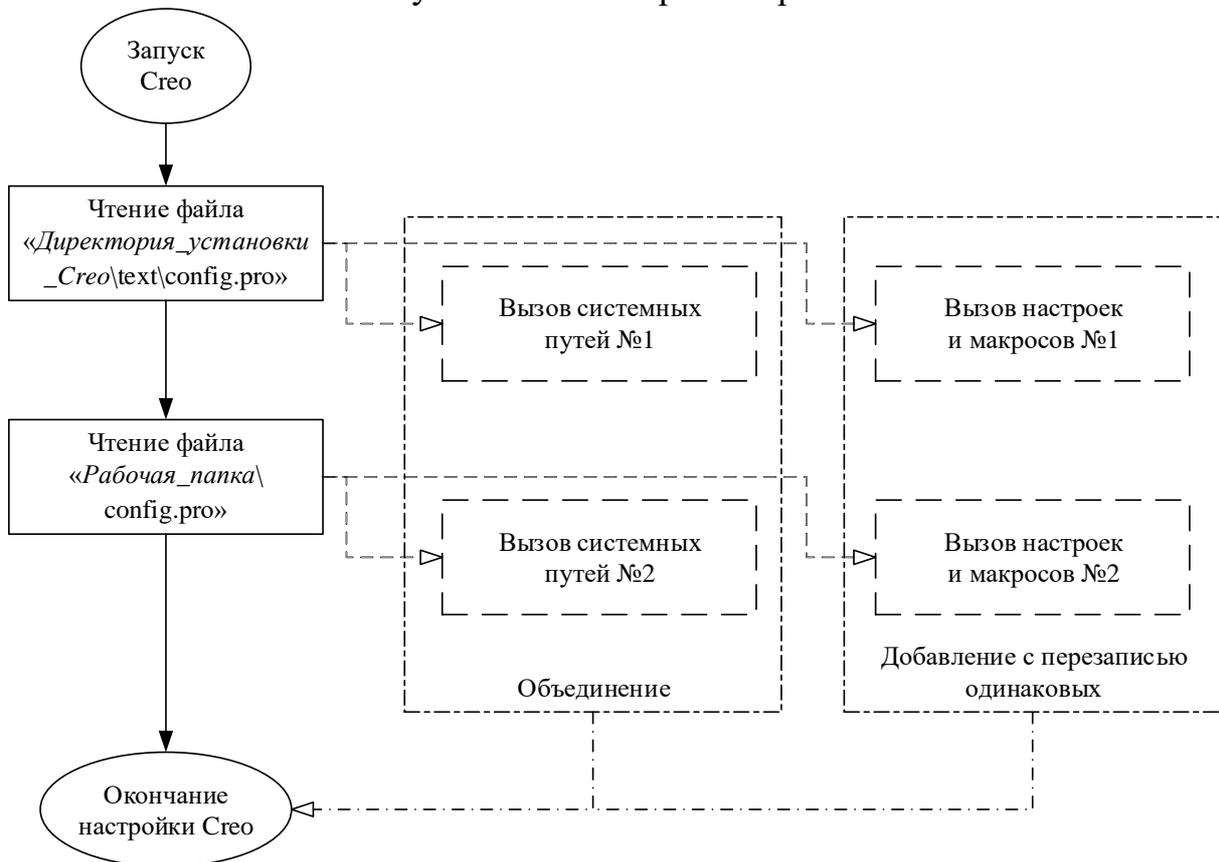


Рисунок 3.5 – Блок-схема настройки Creo

Стоит разделять следующие два понятия, имеющих одинаковое название «Рабочая папка». Пример первого приведен выше, оно подразумевает стартовую директорию, из которой загружаются проектные настройки системы. Второе понятие относится к «Рабочей папке» конкретной сессии, которая открывается по умолчанию при выборе команды *Файл → Открыть (или Сохранить)*. Изменение этой папки происходит по команде *Файл → Задать рабочую папку*.

### 3.4. Правила наименования файлов

Результаты моделирования в программе Creo в виде моделей и чертежей хранятся в системе PLM. Для корректного хранения информации необходимо обеспечивать уникальность имени файла, даже при условии, что файлы лежат в различных рабочих директориях. Это достигается только при соблюдении общих требований к наименованию файлов, которые приведены ниже.

При наименовании файлов моделей и папок следует использовать только латинский алфавит. Пробел и знаки препинания запрещено использовать, вместо них следует применять нижнее подчеркивание «\_» и/или тире «-».

Имя модели или папки следует присваивать согласно следующему шаблону: *[код организации]\_[обозначение по классификатору ЕСКД<sup>1</sup>]\_[наименование детали]*. Пример: *itmo\_123456\_123\_detal*.

При проектировании нового изделия обозначение по классификатору может быть еще не определено, в этом случае шаблон имени файла следующий: *[наименование сборочной единицы]\_[наименование детали]\_[порядковый номер]*. Пример: *pribor\_a\_vtulka\_3*. После завершения разработки модели имя файла обязательно должно быть изменено в соответствии с обозначением документа.

Имя чертежа следует присваивать согласно следующему шаблону: *[код организации]\_[обозначение по классификатору ЕСКД]\_[тип чертежа]\_[наименование детали]*. Пример: *itmo\_123456\_123sb\_detal* или *pribor\_a\_vtulka\_3vo*.

Имена файлов дополнительных моделей, которые не имеют своего обозначения, например модели электромонтажа, компаундов, скелетонов и пр., следует присваивать по шаблону: *[тип детали]\_[наименование или обозначение*

---

<sup>1</sup> См. раздел 1.4.

сборочной единицы] [порядковый номер]. Пример: *provod\_itmo\_123456\_123\_2* или *skel\_pribor\_a\_1*.

В случае создания и использования модели, используемой в различных проектах, рекомендуется использовать единый файл подобной модели, а в различных проектах ссылаться на него через подгружаемую конфигурацию поиска *search.pro*.

### **3.5. Правила разработки моделей деталей и сборочных единиц**

В современном производстве существует возможность использовать трехмерные модели, спроектированные в Сгео, в качестве основы программы для станка с ЧПУ. Таким образом, полностью аннотированная 3D модель может заменить бумажный чертеж с его техническими требованиями.

Современные стандарты регламентируют правила создания таких моделей, их проверки и хранения. К основным стандартам в части рассматриваемых в настоящем учебном пособии вопросов относятся *ГОСТ 2.052-2015 Электронная модель изделия*, *ГОСТ 2.056-2014 Электронная модель детали*, *ГОСТ 2.057-2014 Электронная модель сборочной единицы*. Согласно нормативным требованиям, электронная модель должна содержать основную геометрию деталей и структуру сборочной единицы, конструкторские и технологические требования в виде аннотаций в модели, физико-технические характеристики для проведения расчетов и другие данные.

Однако, вследствие недостаточной цифровизации производственных процессов, наличия большого количества универсального оборудования и требований нормативных документов сохраняется необходимость разработки электронного чертежа средствами Сгео. Учитывая, что большинство операций, выполняемых при разработке моделей, идентичны действиям при составлении чертежей, базовый принцип проектирования в Сгео состоит в минимизации повторяющихся действий. Другими словами, еще в самом начальном этапе разработки модели нужно иметь представление о том, каким образом будет строиться чертеж: какой вид детали будет основным, какая плоскость будет базовой для простановки размеров и т. п. Безусловно, освоение указанного принципа приходит только с опытом, однако выполнение нижеприведенных общих правил позволяет уже на ранних стадиях изучения возможностей Сгео создавать корректные модели.

Первый элемент деталей следует создавать в плоскости *FRONT* с ориентацией плоскости *RIGHT* вправо.

Рекомендуется проектировать модели с сохранением логики базовых плоскостей: *FRONT* – вид спереди, *RIGHT* – вид справа, *TOP* – вид сверху. Это облегчает процесс создания чертежей, а также позволяет легко просматривать виды модели встроенными командами.

При разработке новых моделей деталей полезно сначала создавать твердотельную модель, размеры которой соответствуют габаритным размерам проектируемой детали, а затем операциям *вращение* и *выдавливание* удалять материал. Таким образом удастся еще в процессе раннего конструирования учесть технологические особенности и возможности существующего производства.

В случае создания моделей деталей, имеющих плоскость симметрии, они должны быть симметричными относительно базовых поверхностей.

Каждый инструмент проектирования следует использовать в соответствии с его назначением, а именно: *вращение* – для создания деталей - тел вращения и элементов, получаемых при токарной обработке; *вытягивание* – для создания деталей - не тел вращения и элементов, получаемых при фрезерной обработке; отверстия, фаски, скругления создавать только при помощи соответствующих инструментов. Соблюдение этого правила облегчает дальнейшую технологическую подготовку разрабатываемой модели и перенос ее в программу для ЧПУ.

При проектировании моделей предпочтительнее использовать большее количество простых элементов, нежели малое количество элементов со сложным сечением. Соблюдение указанного правила упрощает процесс дальнейшей корректировки моделей и позволяет моделировать процесс изготовления деталей.

Резьбовые отверстия следует создавать при помощи опции *Создать стандартное отверстие* инструмента *Отверстие*.

При создании одинаковых элементов всегда следует использовать инструмент *массив*. В этом случае существенно упрощается процесс создания моделей сборочных единиц.

Опорные элементы необходимо переименовывать в соответствии с их назначением. Например, плоскость, через которую в чертеже строится сечение А-А, должна называться «А» или «А-А».

Простановка размеров в эскизе элемента должна соответствовать простановке в чертеже. При этом следует избегать «лишних» и не параметризованных размеров и максимально использовать *привязки*.

При разработке моделей сборочных единиц тип размещения первого компонента следует выбирать «По умолчанию». Размещение каждого последующего компонента должно быть необходимым и достаточным для его однозначного закрепления (высвечивается надпись «Полностью закрепленный»).

Привязки крепежных элементов следует делать друг относительно друга. Например, размещать шайбу с привязками к отверстию, а винт – с привязками к шайбе.

### **3.6. Правила разработки чертежей**

Разработка чертежей требует достаточного знания соответствующего раздела ЕСКД. Для выполнения этих требований необходима предварительная настройка программы Сгео в соответствии с требованиями ЕСКД. К основным стандартам следует отнести *ГОСТ 2.109-73 Основные требования к чертежам* и стандарты группы 3.

При разработке чертежей в программе Сгео появляется «плиточный» интерфейс в виде вкладок, который внедрен на все этапы моделирования: разработка моделей, их оптимизация и расчеты, а также подготовка к производству.

Интерфейс содержит следующие «плитки» (вкладки): *Компоновка, Таблица, Аннотации, Эскиз, Просмотр, Публикации*. Такая последовательность определена описанным ниже порядком действий при создании чертежей.

Сначала на вкладке *Компоновка* следует создавать виды (сечения, выносные элементы и пр.) изделия. Их количество должно быть необходимым и достаточным для изготовления в производстве. При этом стрелки, показывающие взаимосвязи между видами, должны проставляться в автоматическом (параметрическом) режиме. На этой же стадии разработки чертежа следует определить основной масштаб чертежа.

После создания достаточного количества видов, как правило, становится понятен необходимый формат чертежа и количество его листов. На вкладке *Таблица* доступны к созданию таблицы, соответствующие, например, таблице группового чертежа или основной надписи. При этом для упрощения разработки

чертежей последняя может быть внедрена в формат чертежа, применяемый на стадии создания нового файла. Такой формат является параметризованным и использует параметры, сохраненные в модели, с заполнения которых необходимо начинать разработку чертежа.

Следующим шагом на поле чертежа следует проставить необходимые и достаточные размеры, базовые оси, требования к допускам формы, расположения и шероховатости, а также текстовые заметки, в том числе технические требования. Все перечисленные операции выполняются на вкладке *Аннотации*.

Размеры и базовые оси могут быть двух типов: созданные в модели, а значит, параметризованные, и созданные в чертеже, которые при изменении модели могут «потерять» привязки. Очевидно, что первый тип является более удобным в работе и предпочтителен, особенно в случае разработке больших чертежей (форматы А2, А1 А0).

Аналогично принципу построения моделей (см. раздел 3.5), простановку размеров на чертеже удобно делать, вызывая их все и постепенно стирая ненужные, а нужные перемещая на соответствующие виды. В этом случае существенно снижается вероятность забыть «образмерить» конструктивный элемент, так как всегда вызывается достаточное и необходимое количество размеров для построения модели детали.

При удалении базовых элементов с чертежа следует разделять две операции – *Стереть* и *Удалить*. Первая позволяет скрыть ненужный элемент, при этом он не будет повторно вызываться опцией меню *Показать аннотации модели*, а его отображение сохранится в дереве чертежа. Такая операция удобна при использовании описанного выше принципа простановки размеров. Вторая операция удаляет базовый элемент с чертежа так, что его повторный вызов возможен только через меню *Показать аннотации модели*.

На вкладке *Эскиз* доступны элементы для создания дополнительных эскизов, линий, сечений и пр. Учитывая, что такие элементы не параметризованы, их использование рекомендуется только в обоснованных для этого случаях. Например, для создания диаграммы усилие/деформация на чертеже пружины.

Вкладка *Просмотр* содержит элементы отображения чертежа и используется на протяжении всего процесса разработки чертежа.

Элементы вкладки *Публикации* позволяют напечатать чертеж или экспортировать его в универсальный формат, например, .pdf, .tif и др.

Стоит отметить, что приведенный порядок действий является итеративным. Например, после нанесения всех или части размеров зачастую может потребоваться новый выносной элемент или целый вид и «возвращение» на вкладку *Компоновка*.

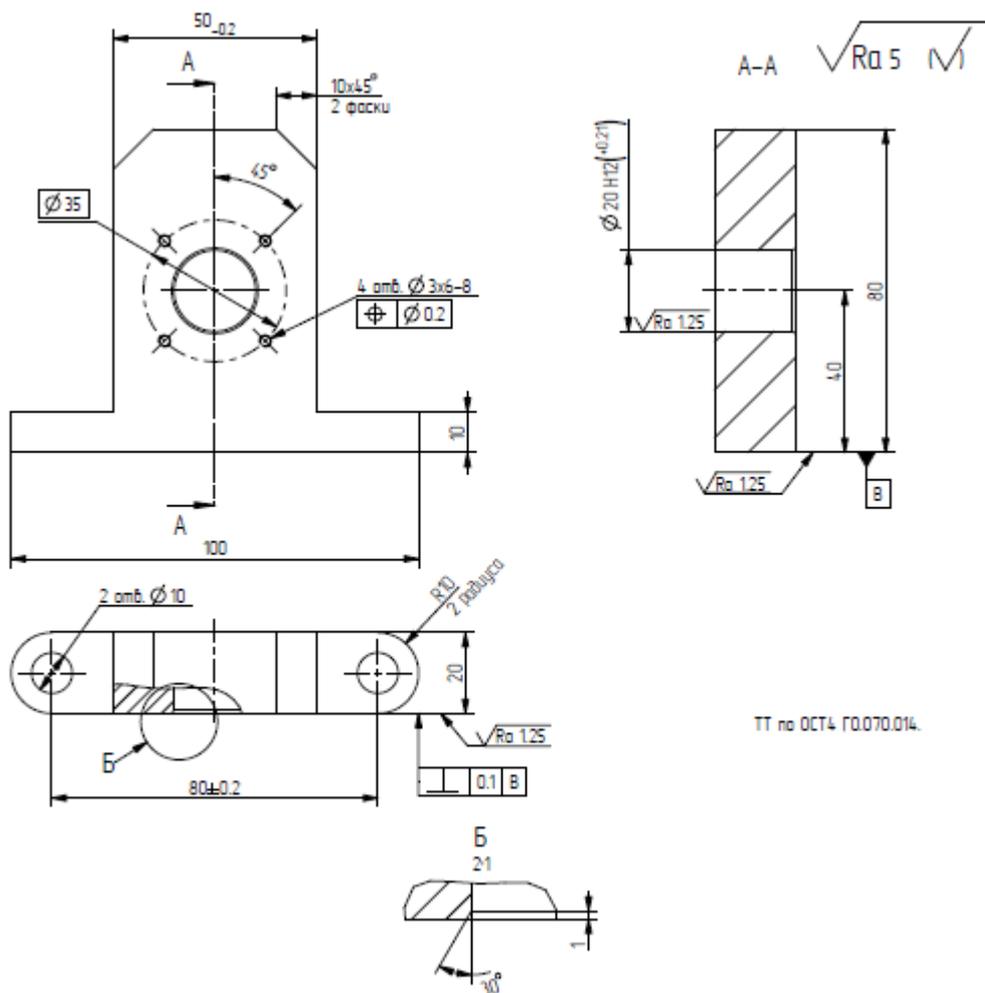
## ЧАСТЬ 2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### 4. РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛЕЙ И ЧЕРТЕЖЕЙ ДЕТАЛЕЙ

#### 4.1. Модель детали – не тела вращения

##### Задание.

Разработать 3D модель детали – не тела вращения, эскиз которой приведен на рисунке 4.1.



Наименование: Стойка; Материал: Сплав Д16 ГОСТ 4784-97.

Рисунок 4.1 – Чертеж детали – не тела вращения

##### Последовательность действий.

Выбрать рабочую директорию. *Файл* → *Задать рабочую папку*.

Создать новый объект в соответствии с рисунком 4.2.

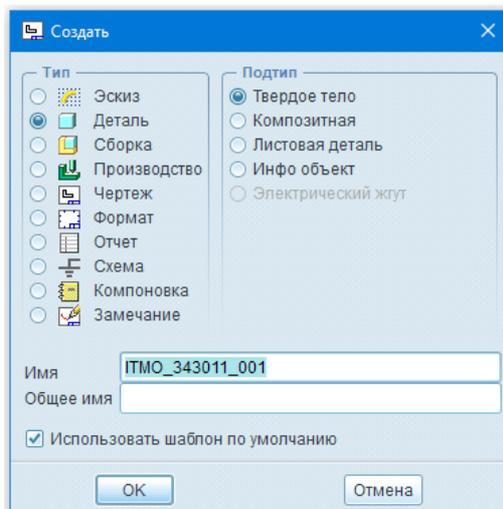


Рисунок 4.2 – Создание нового объекта

Создать элемент *Вытягивания* . Выбрать *Размещение* → *Эскиз* → *Задать*; *Плоскость эскиза: FRONT*, *Привязка: RIGHT*, *Ориентация: Вправо* (рисунок 4.3).

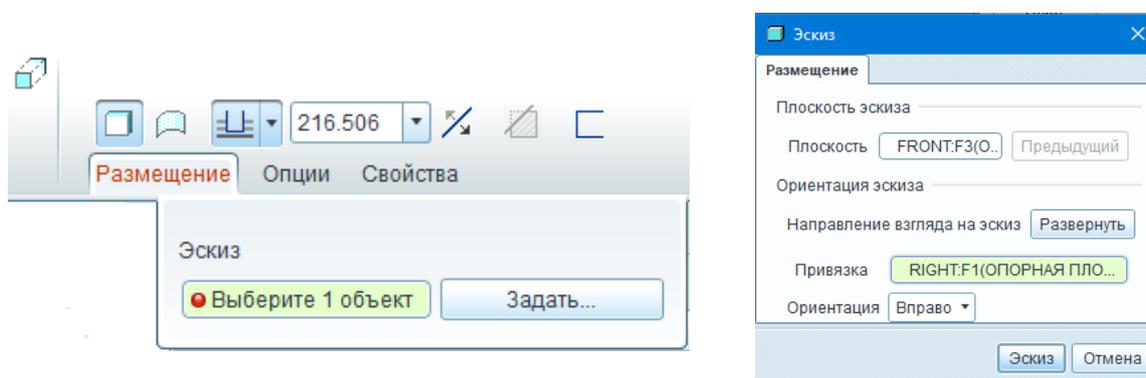


Рисунок 4.3 – Создание элемента вытягивание

В режиме эскиза создать вертикальную осевую линию  через плоскость *RIGHT*. Начертить прямоугольник  с основанием на плоскости *TOP* и симметричный  относительно созданной ранее осевой. Ввести габаритные размеры согласно заданию (рисунок 4.1), подтвердить окончание выполнения эскиза кнопкой *Готово*  (рисунок 4.4).

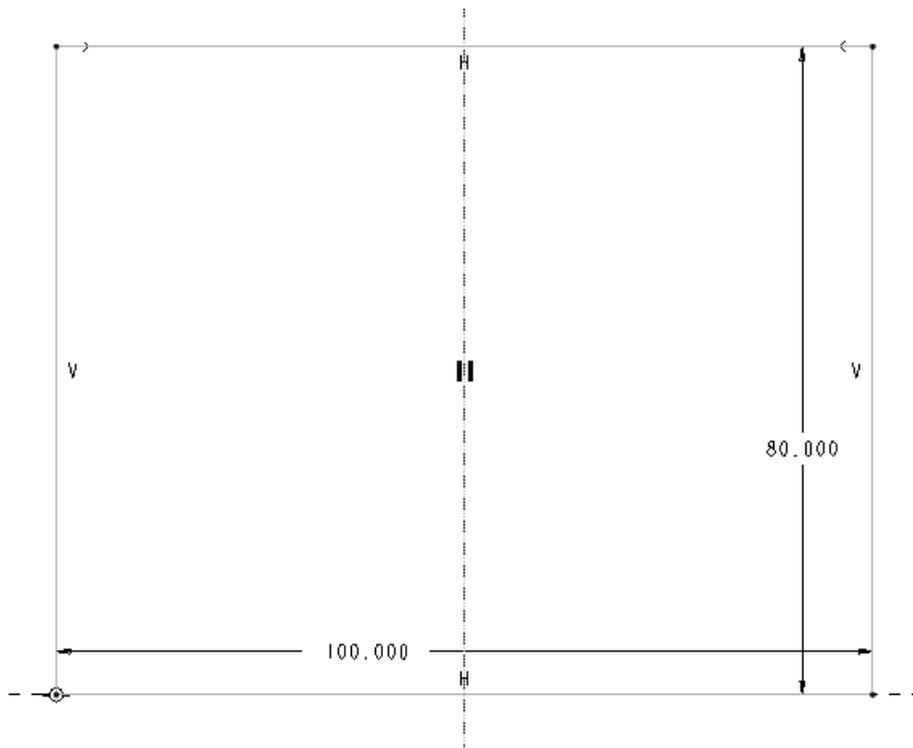


Рисунок 4.4 – Эскиз

Ввести глубину выдавливания согласно заданию и выбрать направление *в обе стороны от плоскости эскиза* (рисунок 4.5). Подтвердить окончание выполнения вытягивания кнопкой *Принять* .

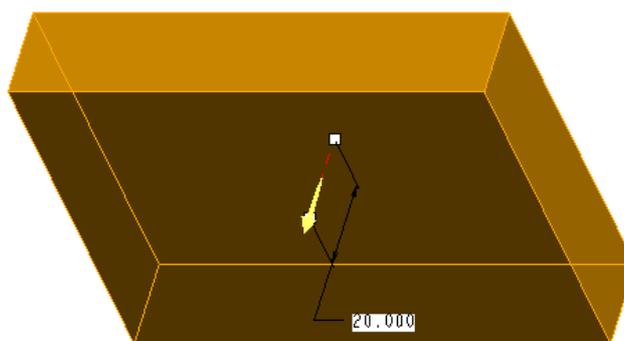


Рисунок 4.5 – Направление выдавливания

Создать элемент *вытягивания* . Выбрать *Размещение* → *Эскиз* → *Задать*; *Плоскость эскиза*: [набольший торец получившейся детали], *Привязка*: *RIGHT*, *Ориентация*: *Вправо* (рисунок 4.6).

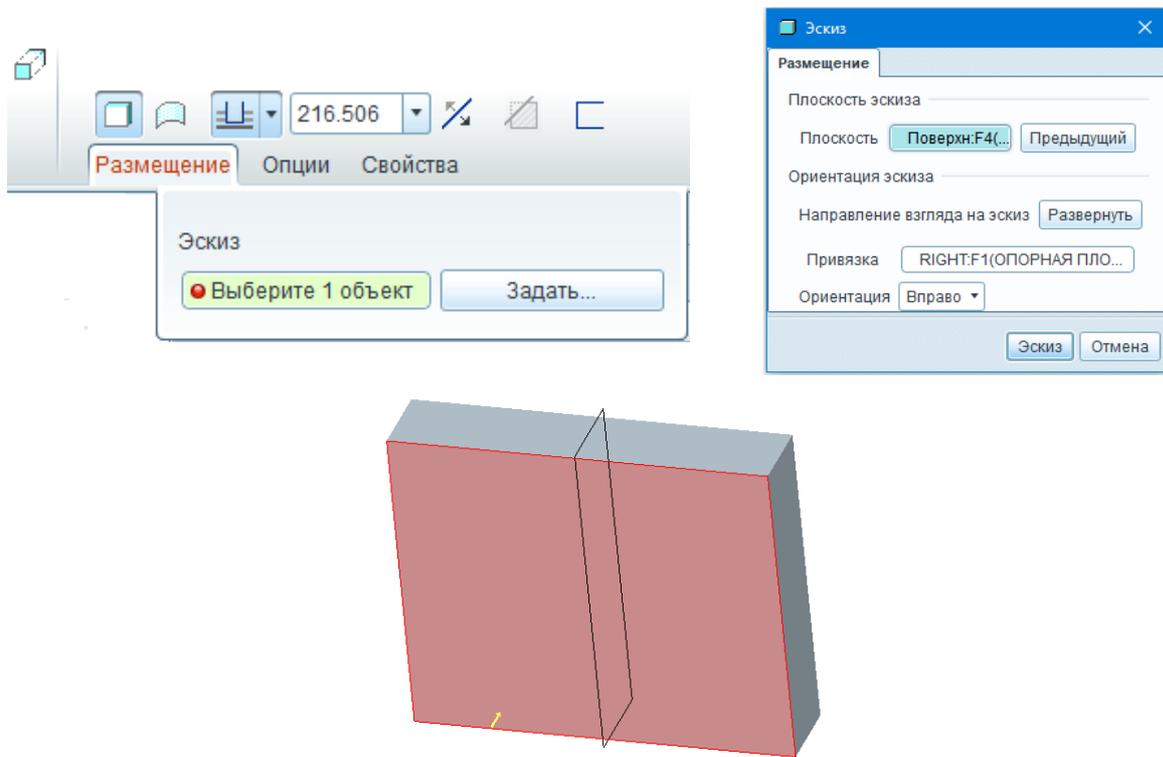


Рисунок 4.6 – Создание элемента вытягивание

В режиме эскиза создать вертикальную осевую линию  через плоскость *RIGHT*. Открыть меню *Эскиз* → *Привязки* , выбрать левую и верхнюю плоскости граней детали (рисунок 4.7).

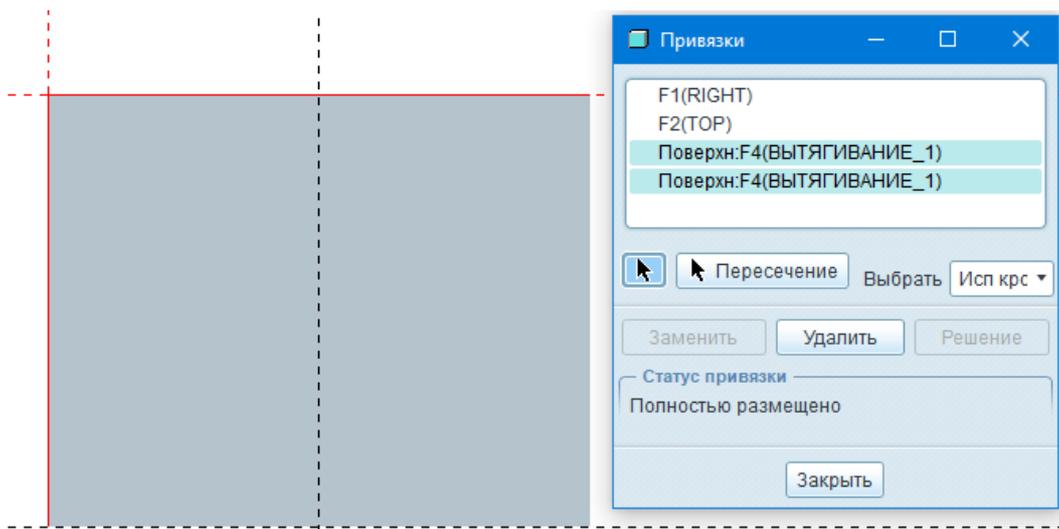


Рисунок 4.7 – Привязки

Начертить прямоугольник  одна вершина которого совпадает с левой верхней вершиной детали. Сделать отражение полученного прямоугольника 



Создать элемент *скругление* . В верхнем окне выбора радиуса скругления установить значение 10. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать четыре кромки, требующие скругления. (рисунок 4.10). Подтвердить окончание создания скругления кнопкой *Принять* .

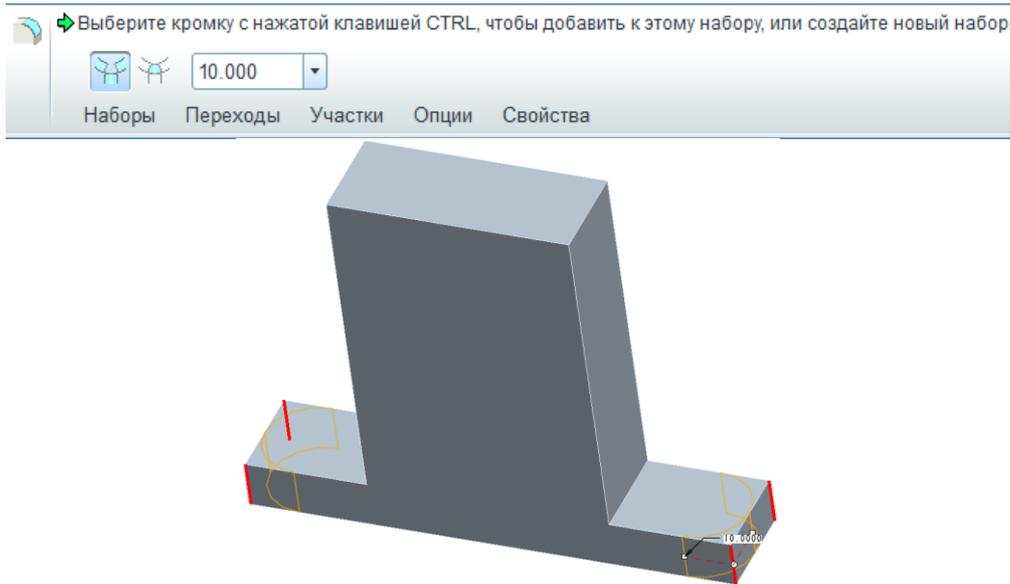


Рисунок 4.10 – Создание элемента скругления

Создать элемент *фаска кромки* . В верхнем окне выбора размера фаски установить значение 10. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать две кромки, на которых будет выполнена фаска. (рисунок 4.11). Подтвердить окончание создания скругления кнопкой *Принять* .

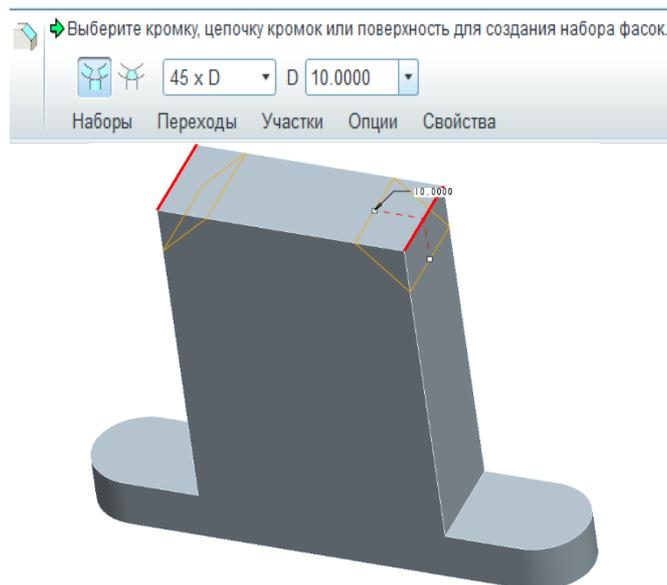


Рисунок 4.11 – Создание элемента фаска кромки

Создать элемент *отверстие* . Выбрать *Размещение* → *Размещение:* [выбрать лицевую поверхность], Тип – *Линейное*. Выбрать *Привязки смещения*. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать плоскость *RIGHT* и *TOP*. В окне *Привязки смещения* установить отступ от плоскости *RIGHT* – 0 и от плоскости *TOP* – 40. Установить диаметр отверстия  $\varnothing$  20. Установить параметр *насквозь* . (рисунок 4.12). Подтвердить окончание создания отверстия кнопкой *Принять* .

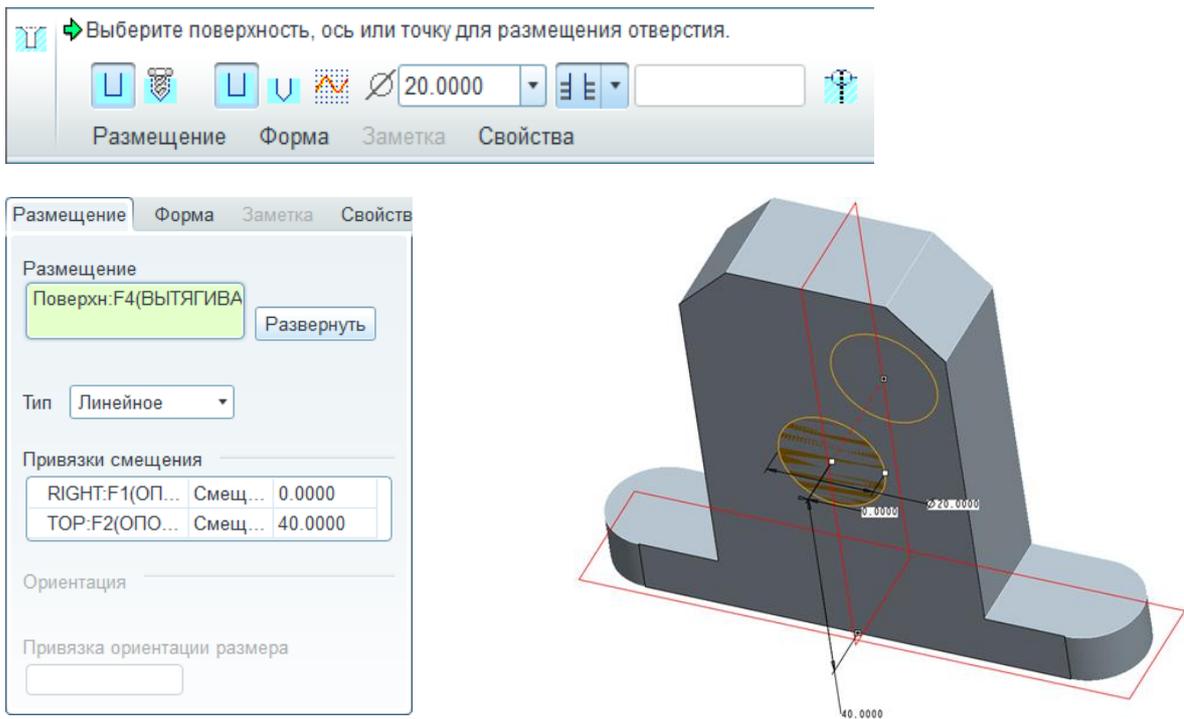


Рисунок 4.12 – Создание элемента отверстие

Создать элемент *отверстие* . Выбрать *Размещение* → *Размещение:* [выбрать верхнюю поверхность нижних выступов], Тип – *Линейное*. Выбрать *Привязки смещения*. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать плоскость *FRONT* и *RIGHT*. В окне *Привязки смещения* установить отступ от плоскости *FRONT* – 0 и от плоскости *RIGHT* – 40. Установить диаметр отверстия  $\varnothing$  10. Установить параметр *насквозь* . (рисунок 4.13). Подтвердить окончание создания отверстия кнопкой *Принять* .

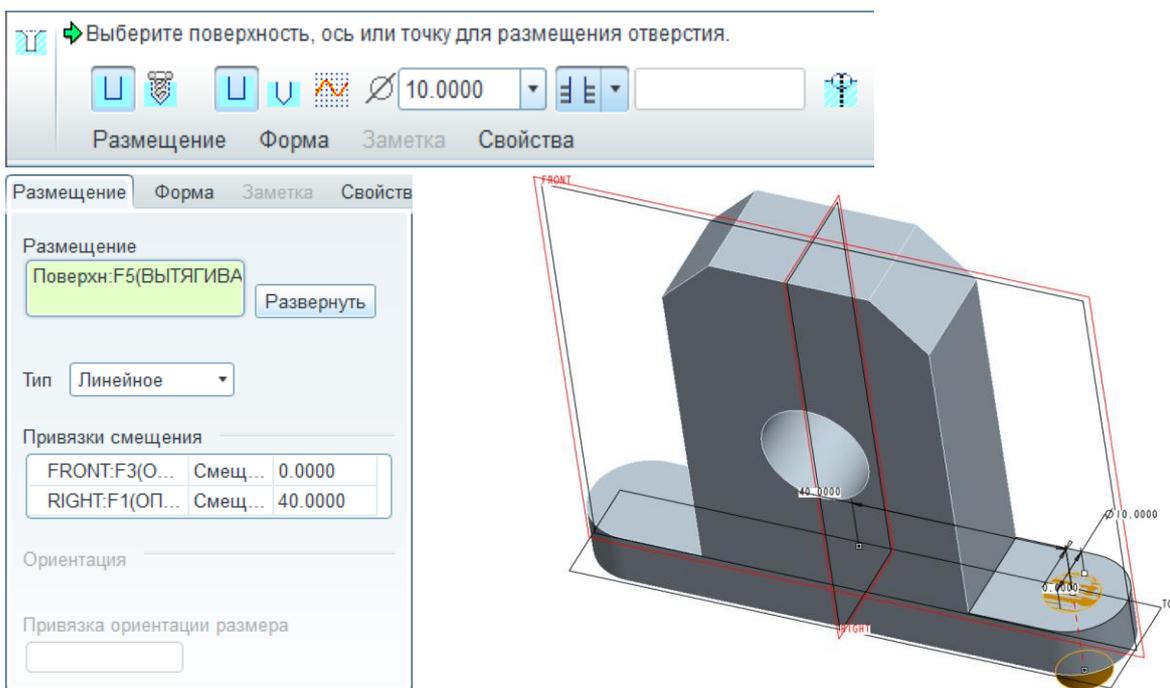


Рисунок 4.13 – Создание элемента отверстие

Выбрать построенное отверстие  $\varnothing 10$ . Создать элемент *Массив* . Нажать *Размеры* → *Направление 1* → выбрать размер 40. Установить значение минус 80. (рисунок 4.14). Подтвердить окончание создания массива кнопкой *Принять* .

Примечание – опция массив доступна только после выбора геометрии, по которой необходимо создать массив.

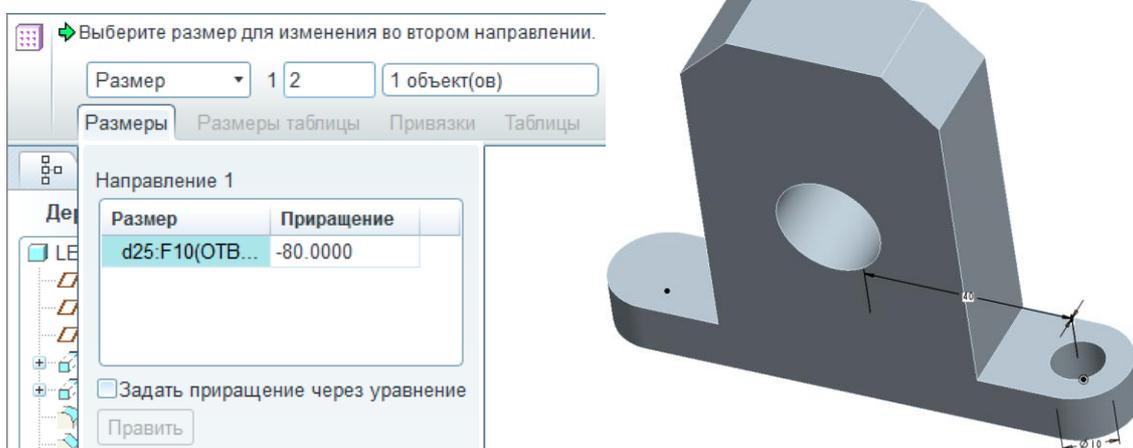


Рисунок 4.14 – Создание элемента массив

Создать элемент *фаска кромки* . Выбрать переднюю кромку отверстия. Параметр  $D \times D$  заменить на  $Угол \times D$ . Задать угол 30,  $D = 1$ . При необходимости использовать операцию *переключить поверхность, используемую углом* . (рисунок 4.15). Подтвердить окончание создание фаски кнопкой *Принять* .

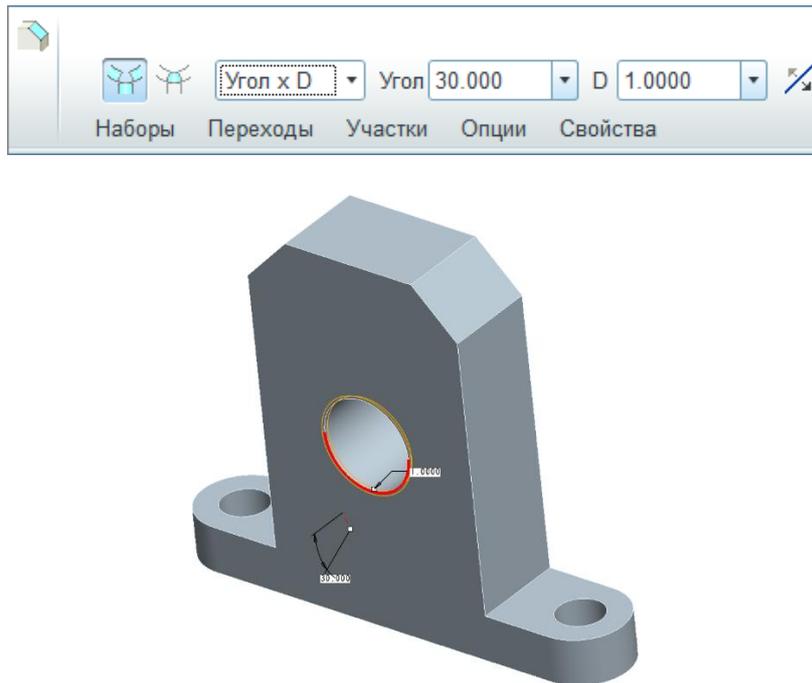


Рисунок 4.15 – Создание элемента фаска кромки

Создать элемент *отверстие* . Выбрать *Размещение* → *Размещение: [выбрать лицевую поверхность]*, *Тип* – *Диаметр*. Выбрать *Привязки смещения*. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать плоскость *RIGHT* и осевую линию центрального отверстия. В окне *Привязки смещения* установить угол от плоскости *RIGHT* – 45, *диаметр* – 35. Активировать резьбовое отверстие командой *создать стандартное отверстие* . Выбрать *размер M3 x .5*. Задать *глубину отверстия* 8. Во вкладке *Форма* установить *глубину резьбовой части* – 6. (рисунок 4.16). Подтвердить окончание создания отверстий кнопкой *Принять* .

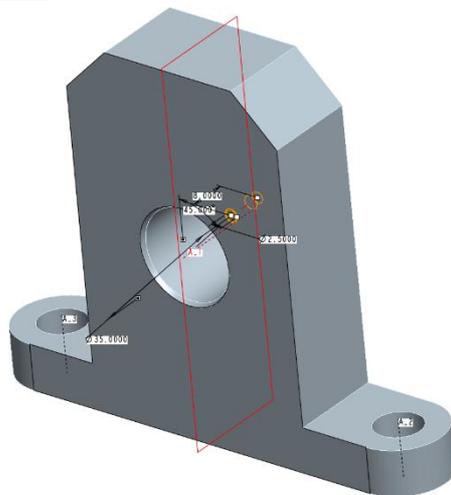
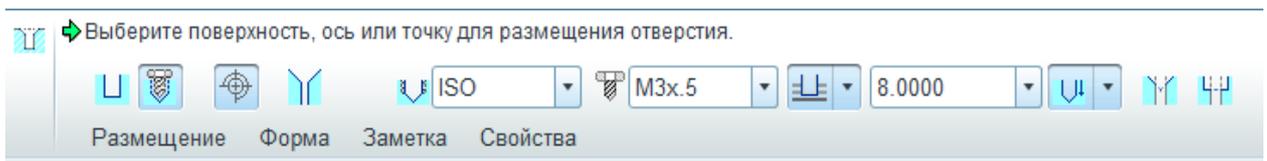


Рисунок 4.16 – Создание элемента отверстие

Активировать построенное отверстие М3х6-8. Создать элемент *массив* . Установить тип массива – *Ось*. Выбрать осевую линию отверстия Ø 40. Проверить выбор четырех копий отверстия М3х6-8 с шагом 90° (рисунок 4.17). Подтвердить окончание создания массива кнопкой *Принять* .

Построенная 3D модель детали показана на рисунке 4.18.

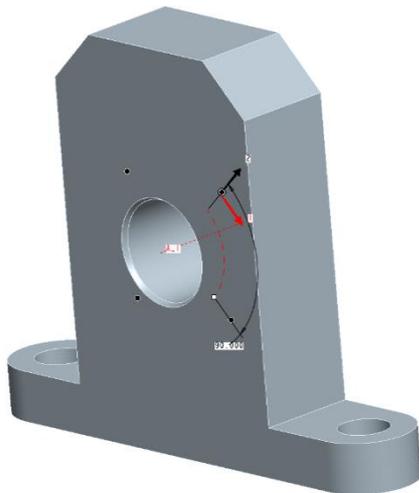
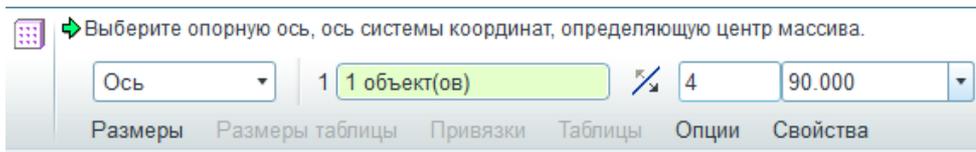


Рисунок 4.17 – Создание элемента массив

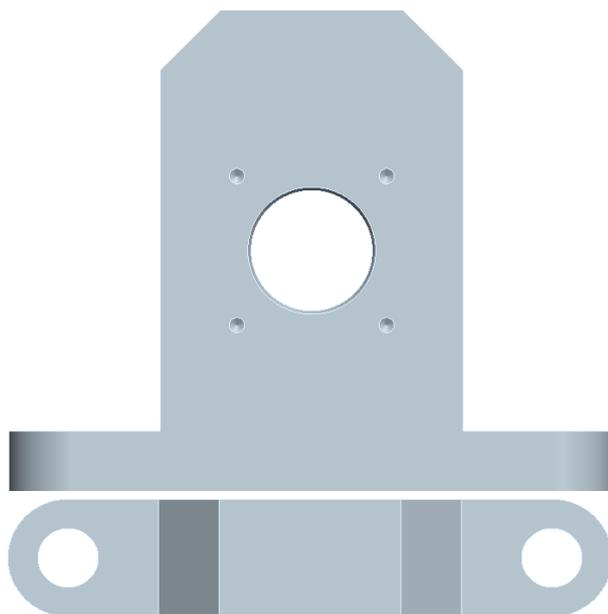


Рисунок 4.18 – Построенная 3D модель

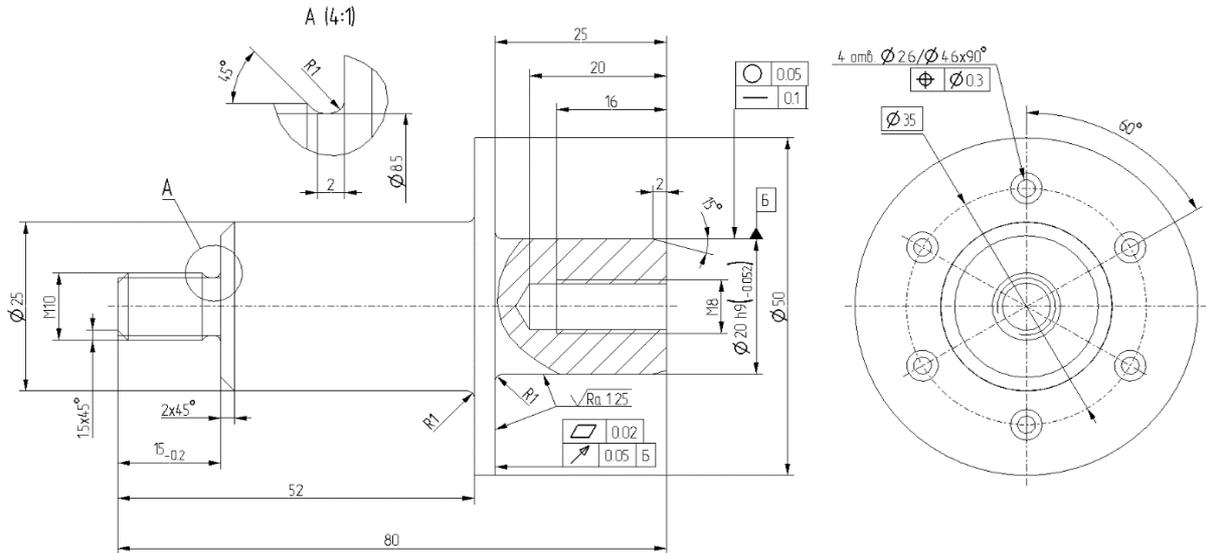
Назначить плотность материала. Выбрать *Анализ* → *Модель* → *Физические свойства* . В поле *Плотность* ввести значение « $2,7e-6$ ». Нажать кнопку *Принять* .

Сохранить модель, выбрав *Файл* → *Сохранить*. Нажать кнопку *OK*.

## 4.2. Модель детали – тела вращения

### Задание.

Разработать 3D модель детали– тела вращения, эскиз которой приведен на рисунке 4.19.



Наименование: Втулка; Материал: Сплав Д16 ГОСТ 4784-97.

Рисунок 4.19 – Чертеж детали - тела вращения

### Последовательность действий.

Выбрать рабочую директорию. *Файл* → *Задать рабочую папку*.

Создать новый объект в соответствии с рисунком 4.20.

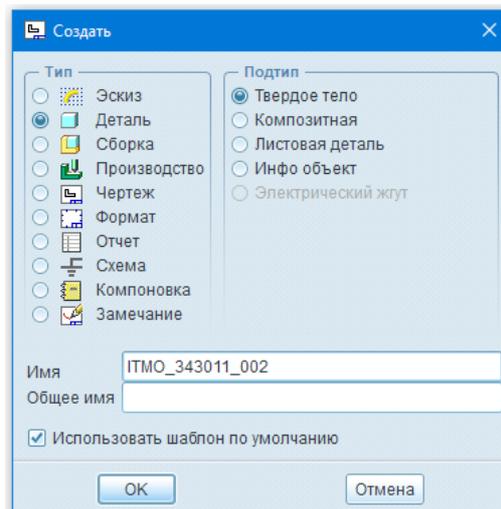


Рисунок 4.20 – Создание нового объекта

Создать элемент вращения . Выбрать *Размещение* → *Эскиз* → *Задать*; *Плоскость эскиза: FRONT*, *Привязка: RIGHT*, *Ориентация: Вправо* (рисунок 4.21).

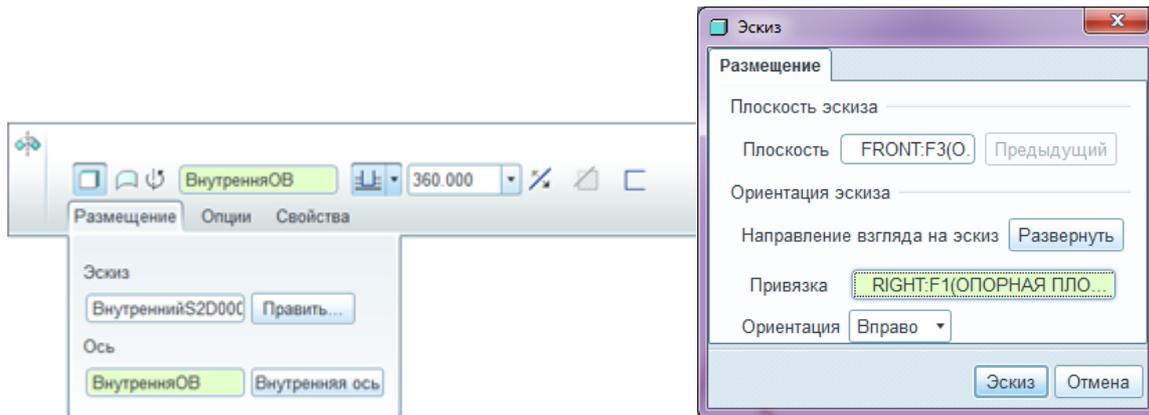


Рисунок 4.21 – Создание элемента вращения

В режиме эскиза создать горизонтальную осевую линию  через плоскость *RIGHT*. Начертить *прямоугольник*  с основанием на плоскости *TOP*. Ввести размеры согласно заданию (рисунок 4.19), подтвердить окончание выполнения эскиза кнопкой *Готово*  (рисунок 4.22).

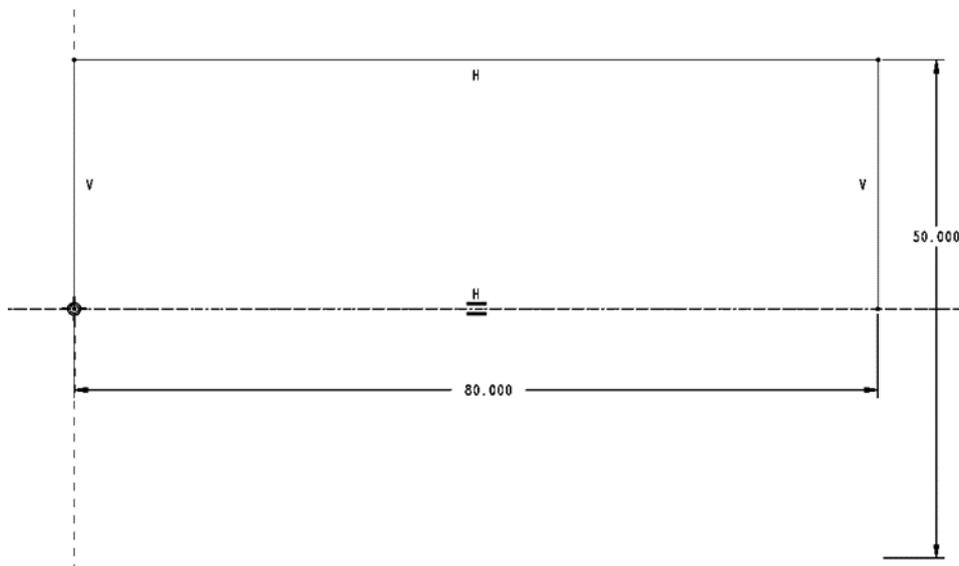


Рисунок 4.22 – Эскиз

Проверить, что выбрано *твердотельное вращение* , установлен *угол вращения 360°* (рисунок 4.23). Подтвердить окончание выполнения вращения кнопкой *Принять* .

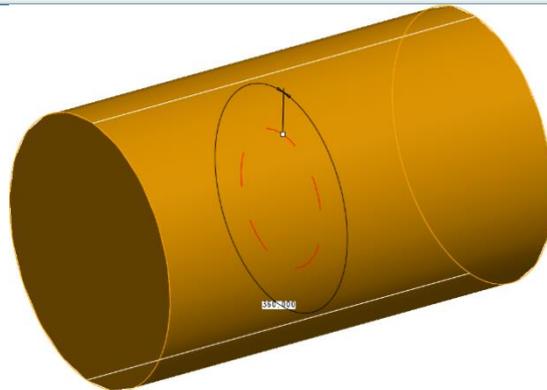
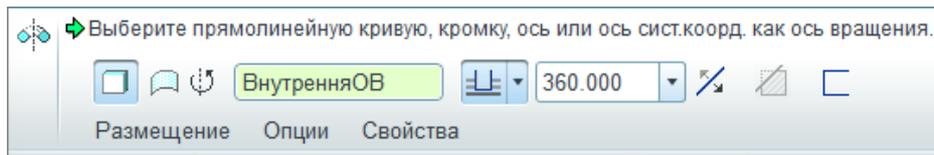


Рисунок 4.23 – Создание элемента вращения

Создать элемент *вращение* . Выбрать *Размещение* → *Эскиз* → *Задать*; *Плоскость эскиза: FRONT, Привязка: RIGHT, Ориентация: Вправо*. В режиме эскиза создать *горизонтальную осевую линию*  через плоскость *RIGHT*. Открыть меню *Эскиз* → *Привязки* , выбрать верхнюю, левую и правую грани детали (рисунок 4.24).

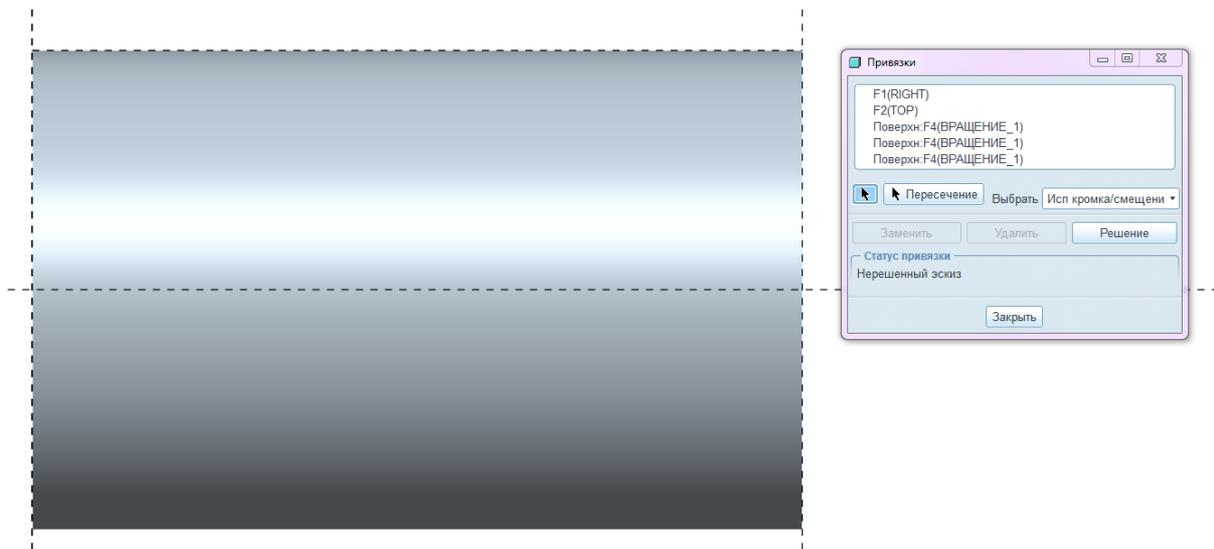


Рисунок 4.24 – Привязки

С помощью *линий*  начертить два замкнутых контура согласно размерам, приведенным в задании (рисунок 4.25). Подтвердить окончание выполнения эскиза кнопкой *Готово* .

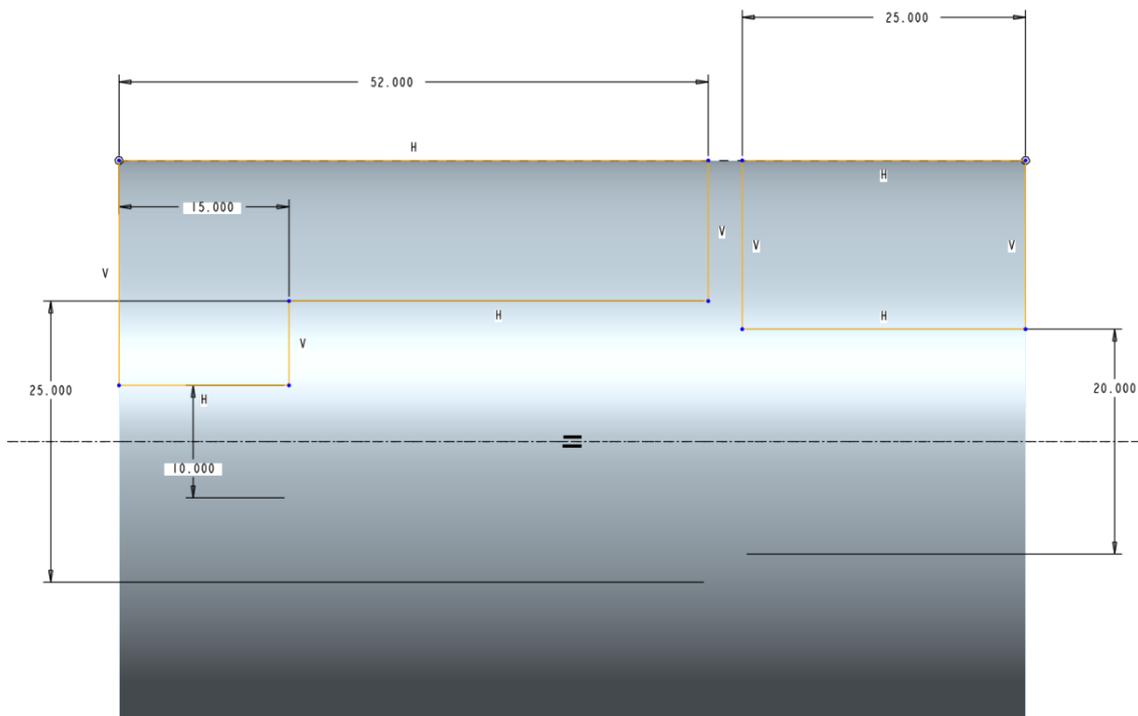


Рисунок 4.25 – Эскиз

Выбрать опцию *удаления материала* . Проверить, что выбрано *твердотельное вращение* , установлен угол вращения  $360^\circ$  (рисунок 4.26). Подтвердить окончание выполнения вращения кнопкой *Принять* .

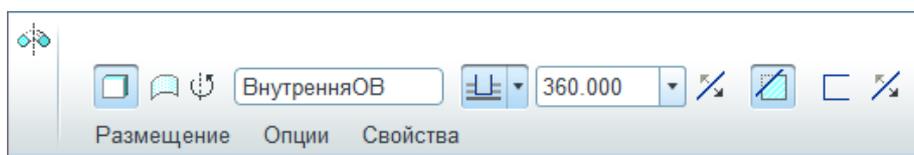


Рисунок 4.26 – Создание элемента вращения

Создать элемент *вращение* . Выбрать *Размещение* → *Эскиз* → *Задать*; *Плоскость эскиза: FRONT*, *Привязка: RIGHT*, *Ориентация: Вправо*. В режиме эскиза создать горизонтальную *осевую линию*  через плоскость *RIGHT*. Открыть меню *Эскиз* → *Привязки* , выбрать верхнюю грань  $\varnothing 10$  и контактирующий с ним правый торец. С помощью *линий*  начертить два

замкнутых контура согласно размерам, приведенным в задании (рисунок 4.27). Подтвердить окончание выполнения эскиза кнопкой *Готово* .

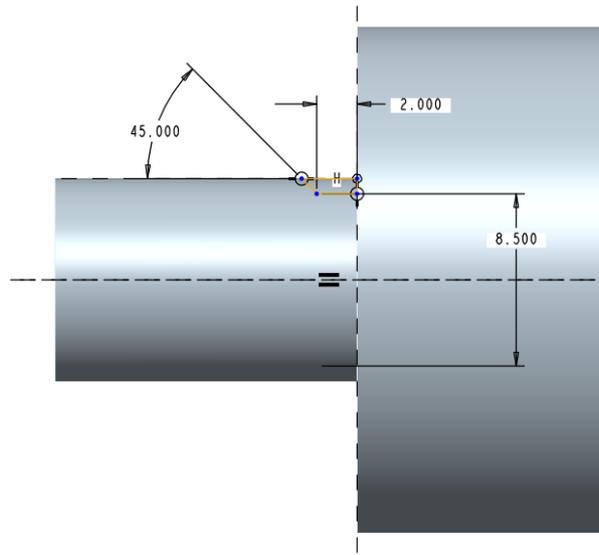


Рисунок 4.27 – Эскиз

Выбрать опцию *удаления материала* . Проверить, что выбрано *твердотельное вращение* , установлен угол вращения 360°. Подтвердить окончание выполнения вращения кнопкой *Принять* .

Создать элемент *фаска кромки* . В верхнем окне выбора размера фаски установить значение 1.5. Выбрать кромку, на которой будет выполнена фаска. (рисунок 4.28). Подтвердить окончание создания фаски кнопкой *Принять* .

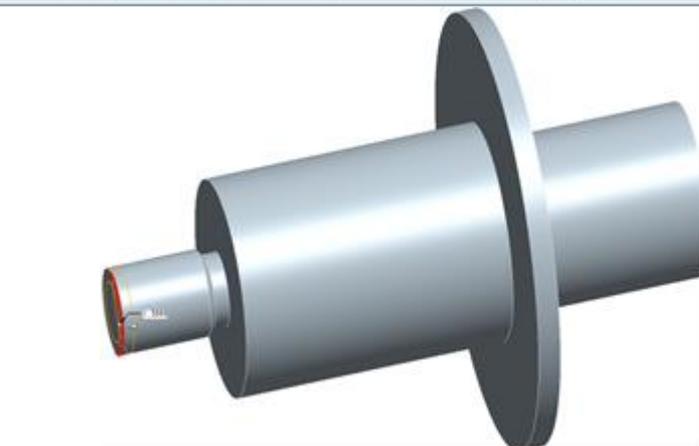


Рисунок 4.28 – Создание элемента фаска кромки

Создать элемент *фаска кромки* . В верхнем окне выбора размера фаски установить значение 2. Выбрать левую кромку на  $\varnothing 25$  (рисунок 4.29). Подтвердить окончание создания фаски кнопкой *Принять* .

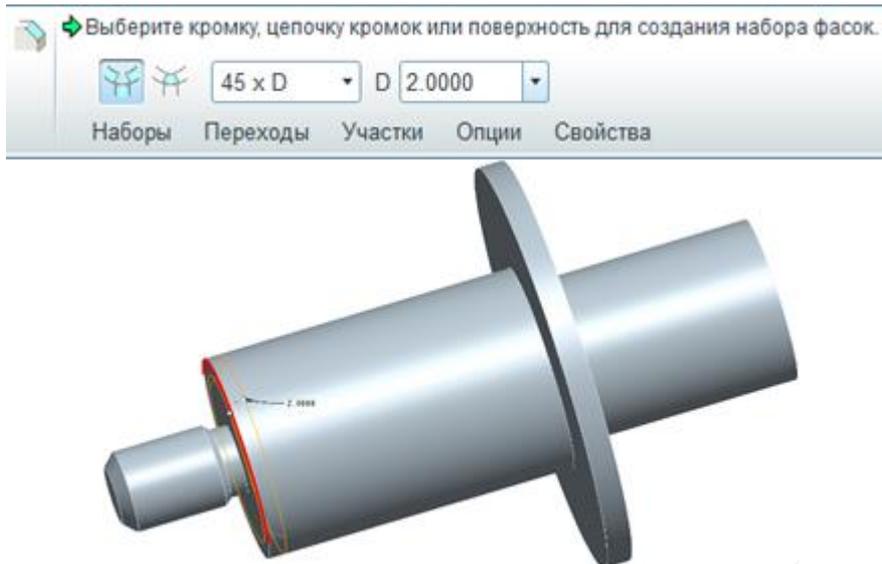


Рисунок 4.29 – Создание элемента фаска кромки

Создать элемент *фаска кромки* . Выбрать правую кромку на  $\varnothing 20$ . Параметр  $D \times D$  заменить на  $Угол \times D$ . Задать угол –  $15^\circ$ ,  $D$  – 2. При необходимости использовать операцию переключить поверхность, используемую углом . (рисунок 4.30). Подтвердить окончание создание фаски кнопкой *Принять* .

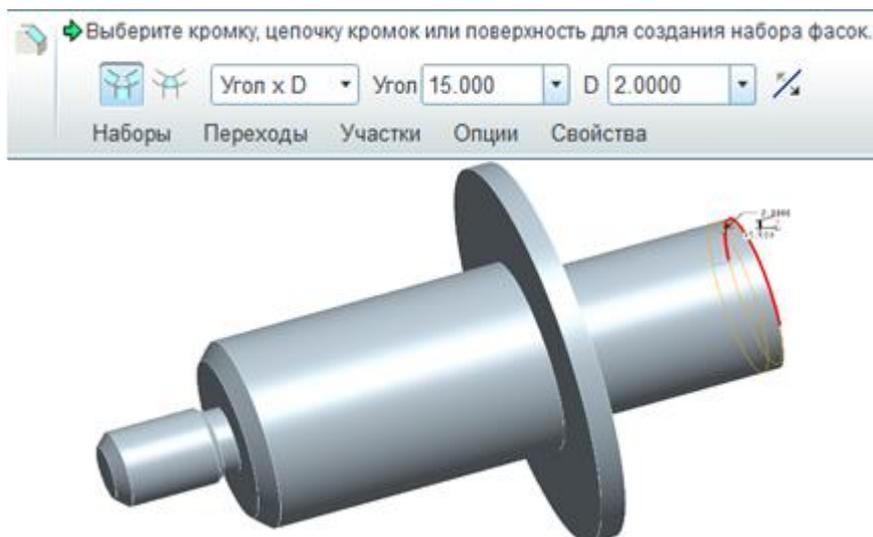


Рисунок 4.30 – Создание элемента фаска кромки

Создать элемент *скругление* . В верхнем окне выбора радиуса скругления установить значение 1. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать две кромки в канавке (рисунок 4.31). Подтвердить окончание создания скругления кнопкой *Принять* .

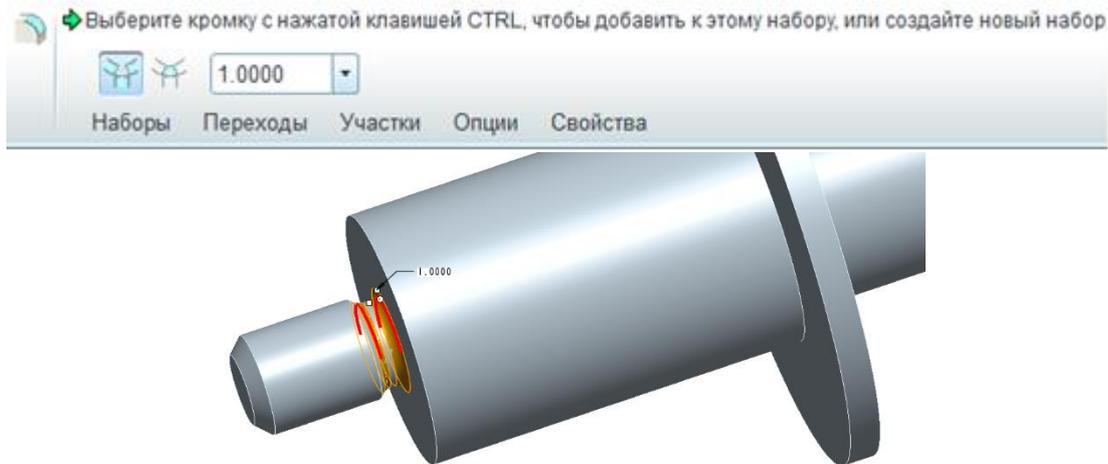


Рисунок 4.31 – Создание элемента скругление

Создать элемент *скругление* . В верхнем окне выбора радиуса скругления установить значение 1. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать две кромки у фланца Ø50 (рисунок 4.32). Подтвердить окончание создания скругления кнопкой *Принять* .

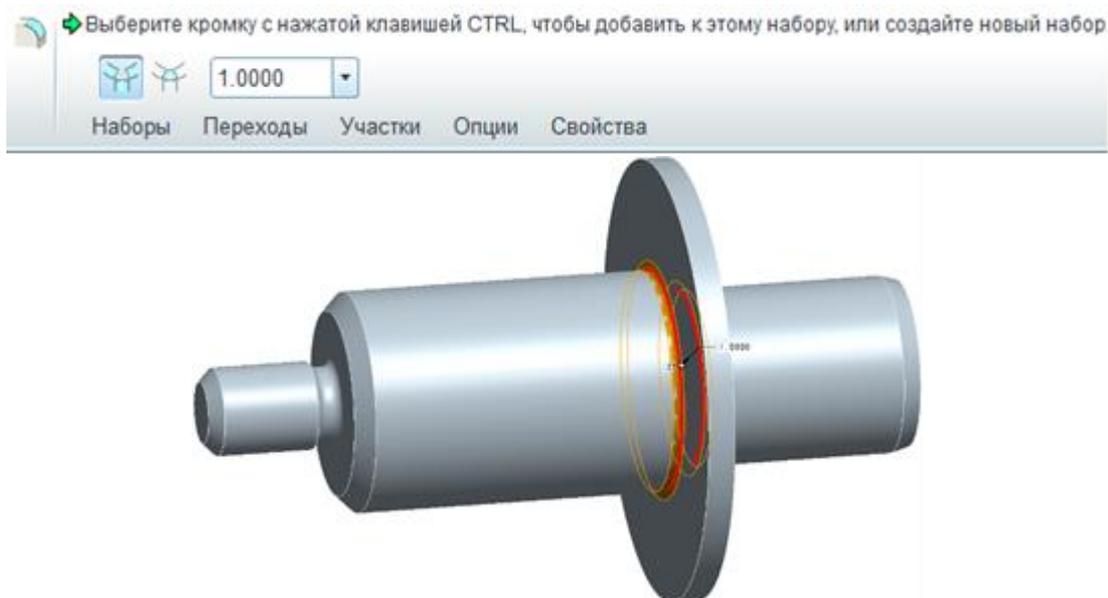


Рисунок 4.32 – Создание элемента скругление

Создать *Резьба* (*Вставить* → *Поверхностный* → *Резьба*). Выбрать *поверхность резьбы* – левый выступ вала Ø10. *Начальная поверхность* – левый торец детали. Проверить направление резьбы и подтвердить. Подтвердить «*на заданную глубину*», ввести значение 15. Ввести значение диаметра 8 (рисунок 4.33). Подтвердить окончание создания резьбы кнопкой *ОК*.

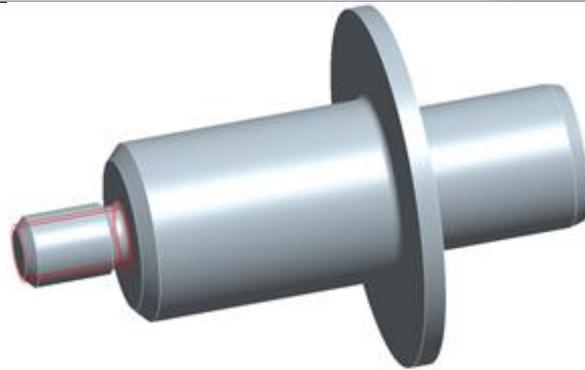
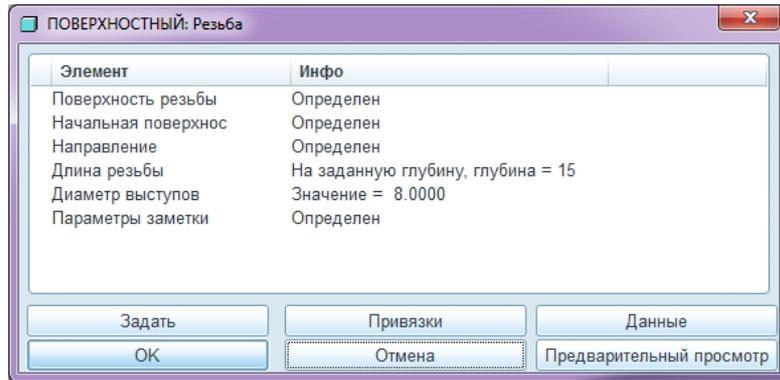


Рисунок 4.33 – Создание элемента Резьба

Создать элемент *отверстие* . Выбрать *Размещение* → *Размещение: [выбрать левый торец фланца]*, Тип – Диаметр. Выбрать *Привязки смещения*. При зажатой клавише *Ctrl* выбрать плоскость *FRONT* и осевую линию детали. В окне *Привязки смещения* установить угол от плоскости *FRONT* – 0, диаметр – 35. Активировать резьбовое отверстие командой *создать стандартное отверстие* . Выбрать размер M2 x .5. Снять выделение с кнопки *Добавить резьбу* . Активировать кнопку *Создать отверстие с зазором* . Активировать кнопку *Добавить зенковку* . Установить параметр *насквозь* . Во вкладке *Форма* установить *свободную посадку* и проверить размеры – угол зенковки 90, диаметр зенковки 4,6 диаметр отверстия 2,6 (рисунок 4.34). Подтвердить окончание создания отверстий кнопкой *Принять* .

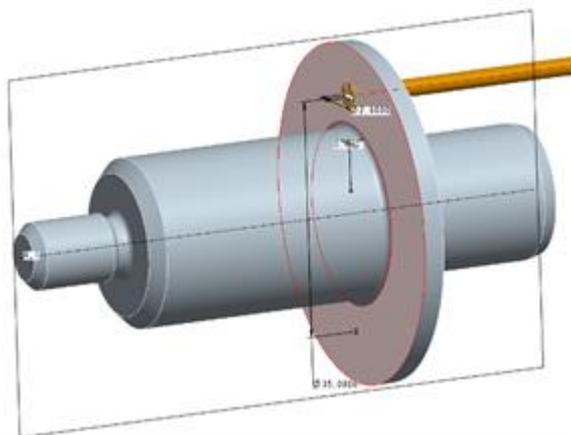
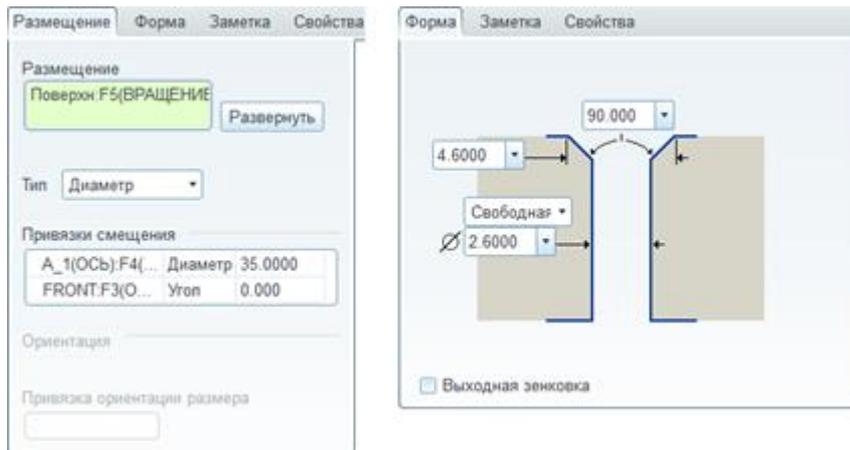
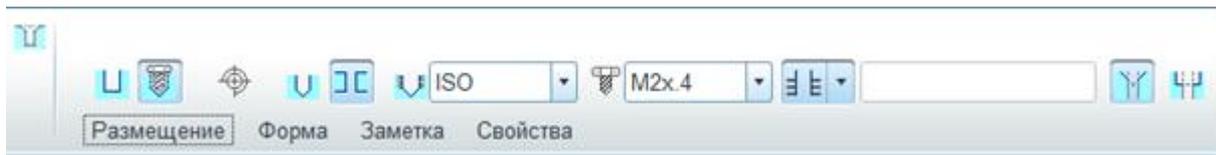


Рисунок 4.34 – Создание элемента отверстие

Активировать построенное отверстие  $\varnothing 2,6$ . Создать элемент *массив* . Установить *тип массива* – Ось. Выбрать осевую линию детали. Установить количество копий отверстия  $\varnothing 2,6$  – 6 шт. с шагом  $60^\circ$  (рисунок 4.35). Подтвердить окончание создания массива кнопкой *Принять* .

Создать элемент *отверстие* . Выбрать *Размещение*  $\rightarrow$  *Размещение*: С зажатой клавишей *Ctrl* выбрать правую торцевую поверхность и осевую линию детали. Активировать резьбовое отверстие командой *создать стандартное отверстие* . Выбрать размер M8 x1.25. Задать глубину отверстия 20. Во вкладке *Форма* установить глубину резьбовой части 16. (рисунок 4.36). Подтвердить окончание создания отверстий кнопкой *Принять* .

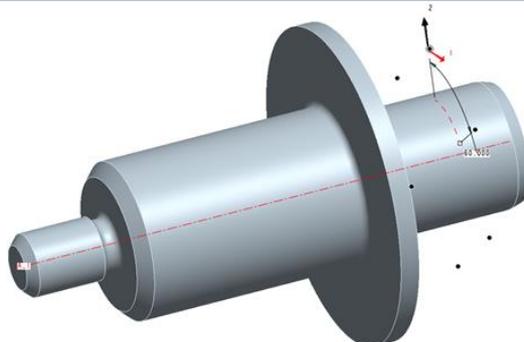
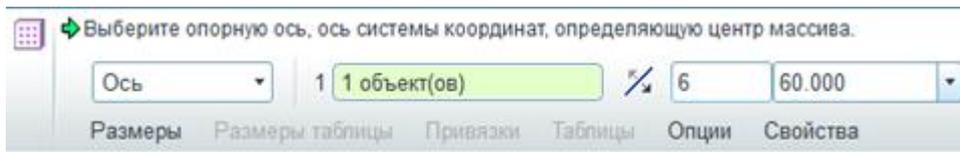


Рисунок 4.35 – Создание элемента массив

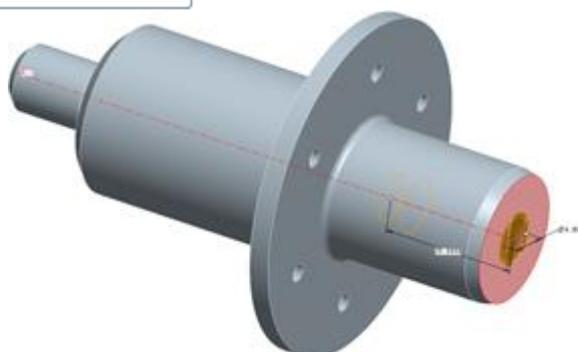
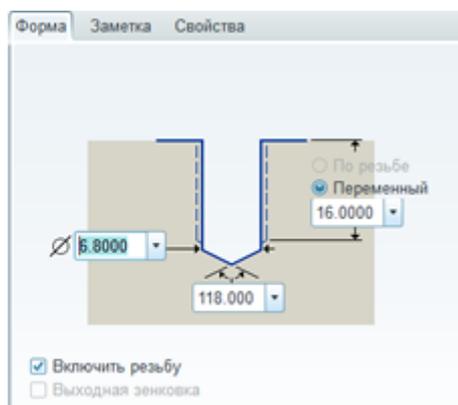
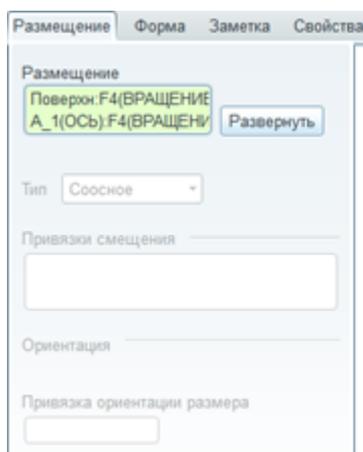


Рисунок 4.36 – Создание элемента отверстие

Построенная 3D модель детали показана на рисунке 4.37.

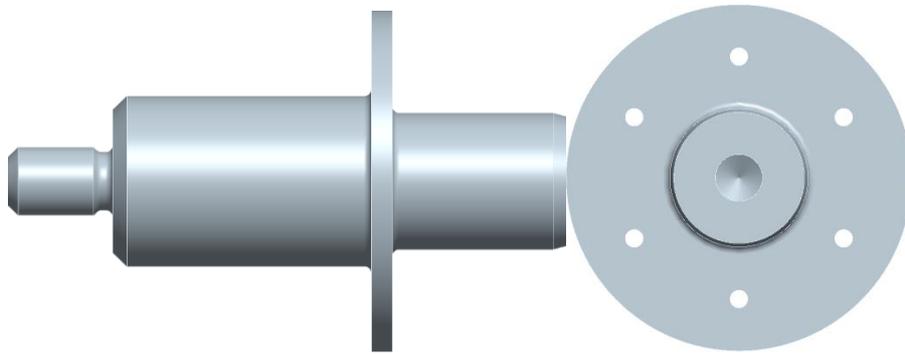


Рисунок 4.37 – Построенная 3D модель

Назначить плотность материала. Выбрать *Анализ* → *Модель* → *Физические свойства* . В поле *Плотность* ввести значение «2,7e-6». Нажать кнопку *Принять* .

Сохранить модель, выбрав *Файл* → *Сохранить*. Нажать кнопку *ОК*.

### 4.3. Чертеж детали

#### **Задание.**

Разработать чертеж детали на основе эскиза, приведенного на рисунке 4.1.

#### **Последовательность действий.**

Выбрать рабочую директорию. *Файл* → *Задать рабочую папку*.

Открыть файл модели, созданной по методическим указаниям раздела 4.1.

Создать новый объект в соответствии с рисунком 4.38, а.

В поле *Модель по умолчанию* окна *Новый чертеж* должно появиться имя файла модели (рисунок 4.38, б). Если этого не произошло, необходимо нажать кнопку *Просмотр* и выбрать необходимый файл.

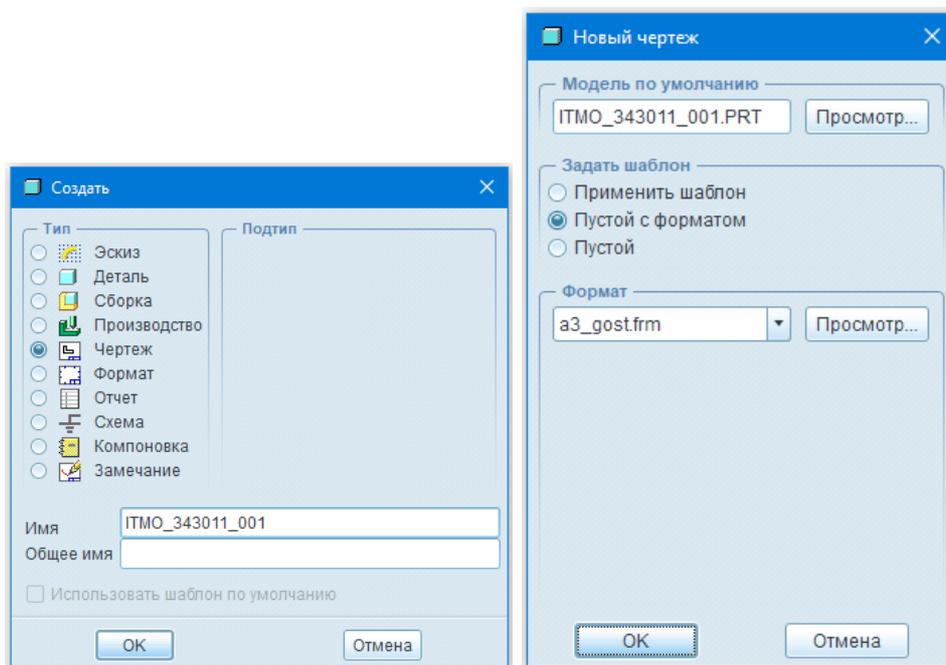
В поле *Задать шаблон* следует выбрать режим *Пустой с форматом*, а в поле *Формат* нажать кнопку *Просмотр*.

В открывшемся окне необходимо выбрать файл «a3\_gost.frm» и нажать кнопку *Открыть*.

Нажать кнопку *ОК*.

При запросе «Введите номер листа форматки для применения (1-2)» ввести в поле значение «1» и нажать кнопку *Принять значение* .

В левом нижнем углу поля построения чертежа нажать дважды на меню *Масштаб*. В открывшемся окне *Введите значение масштаба* указать «1» и нажать кнопку *Принять значение* .



а) б)  
Рисунок 4.38 – Создание нового объекта

Выбрать меню панели задач *Инструменты* → *Параметры*. В поле *Смотреть в* выбрать *Деталь*. Задать параметры согласно таблице 4.1.

После указания перечисленных параметров основная надпись чертежа заполняется автоматически аналогично представленной на рисунке 4.39.

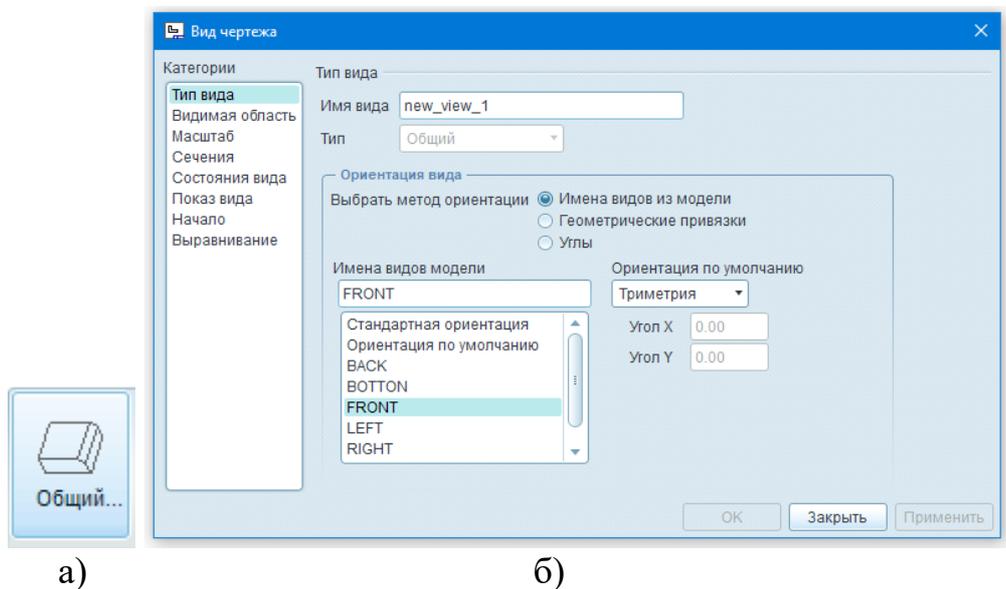
Таблица 4.1 – Параметры модели

Параметр	Значение
OBOZN	В соответствии с разделом 1.4
PERVPRIM	ИТМО.YYYY, где YYYY – год обучения.
RAZRAB	Фамилия студента
UTVERD	Фамилия преподавателя
NAIMEN	Наименование детали (присваивается самостоятельно)
MATERIAL	Название материала детали
MATERIAL1	
RAZRAB_DATE	Год обучения

					ИТМО.34.3011.001		
					Стойка		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Елисеев				0.214	1:1
Проб.							
Т.контр.					Лист	Листов	1
					Сплав Д16 ГОСТ 47-84-97		
Н.контр.							
Утв.		Евстифеев					

Рисунок 4.39 – Пример основной надписи нового чертежа

На вкладке *Компоновка* нажать кнопку *Общий...* (рисунок 4.40, а). Нажать левой кнопкой мыши в свободном месте на поле чертежа.



в)

Рисунок 4.40 – Основной вид чертежа

В поле *Ориентация вида* открывшегося окна *Вид чертежа* двойным нажатием левой кнопки мыши выбрать вид *FRONT* (рисунок 4.40, б).

Создаваемый вид чертежа (рисунок 4.40, в) должен получиться идентичным основному виду на рисунке 4.1. Иначе следует воспользоваться или видом с другим именем, или инструментами опций *Геометрические привязки* и *Углы*. Нажать кнопку *Заккрыть*.

Выбрать созданный вид и нажать на вкладке *Компоновка* кнопку  *Проекционный...*. Нажать левой кнопкой мыши в месте на поле чертежа под основным видом. Повторить действие и нажать левой кнопкой мыши справа от основного вида (рисунок 4.41). Должен получиться вид сверху, идентичный виду на рисунке 4.1.

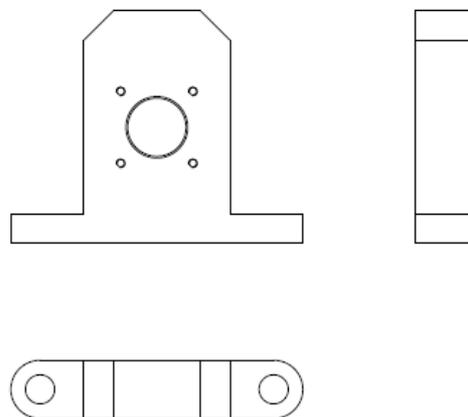


Рисунок 4.41 – Виды сверху и слева

Двойным нажатием левой кнопки мыши на виде сверху открыть окно *Вид чертежа*. Перейти во вкладку *Сечения*. В поле *Опции сечения* выбрать меню *2D сечение*. Нажать кнопку *Добавить сечение в вид* . В выпадающем списке *Имя* выбрать *TOP*, в списке *Область сечения* – *Локальные*. Нажать на поле *Привязка*, выбрать на элементе вида (линия, точка) точку. Многократными нажатиями левой кнопки мыши нарисовать сплайн вокруг выбранной точки и близкий к виду сечения на рисунке 4.1. Завершить рисование сплайна нажатием средней кнопки мыши, при этом сплайн замыкается автоматически (рисунок 4.42).

Нажать кнопку *OK* в окне *Вид чертежа*. Должен получиться (рисунок 4.43) вид сверху с местным сечением, аналогичным приведенному на рисунке 4.1 и с подписью, соответствующей имени сечения.

Изменить шаг штриховки местного сечения следующим образом: двойным нажатием на штриховке открыть окно *Менеджер меню* (рисунок 4.43). Выбрать

меню *Интервал*, затем *Значение*, в открывшемся окне ввести значение «3» (мм). Нажать кнопку *Принять* , затем – *Готово*.

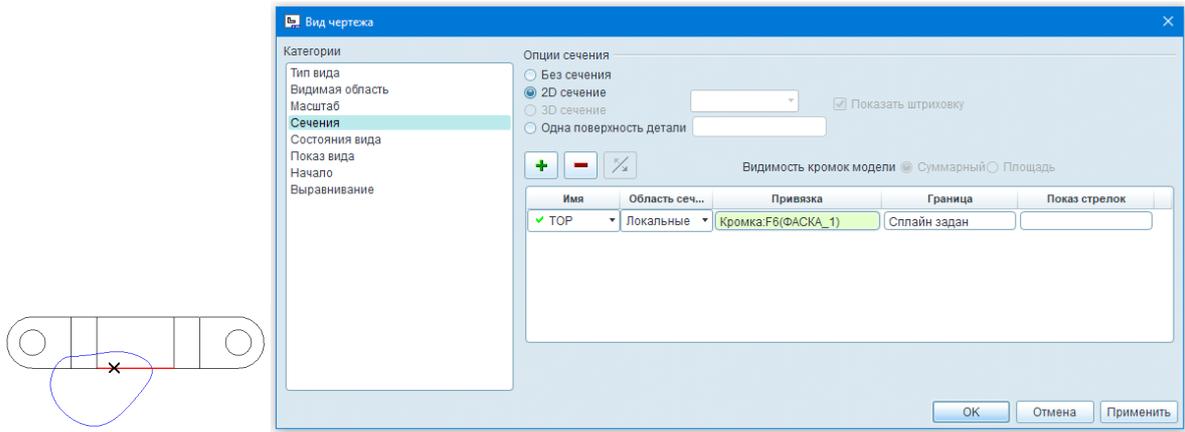
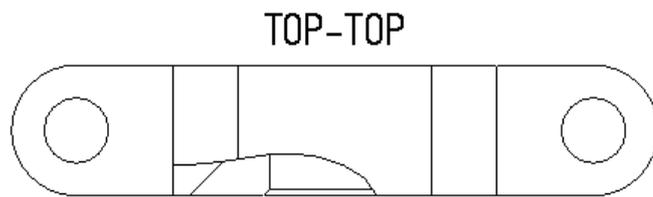
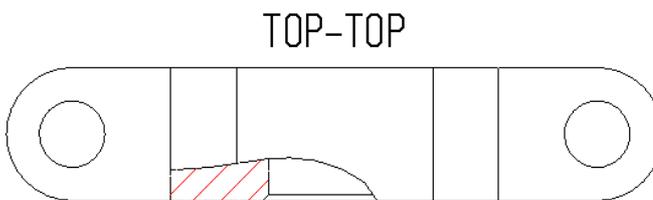


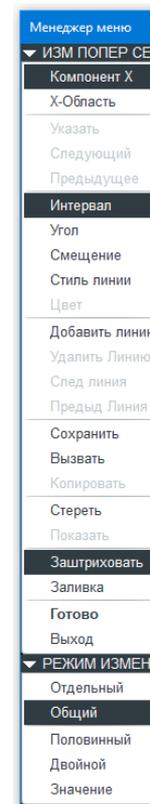
Рисунок 4.42 – Создание сечения



а)



в)



б)

Рисунок 4.43 – Изменение шага штриховки

Двойным нажатием левой кнопки мыши на виде слева открыть окно *Вид чертежа*. Перейти во вкладку *Сечения*. В поле *Опции сечения* выбрать меню *2D сечение*. Нажать кнопку *Добавить сечение в вид* . В выпадающем списке *Имя* выбрать *RIGHT*. Нажать на поле *Показ стрелок* и нажать на главный вид. Нажать кнопку *ОК*.

На главном виде нажать правой кнопкой на стрелках с надписью *RIGHT* и подержать. В контекстном меню выбрать опцию *Переименовать*. В окне *Введите имя для сечения* ввести «А» (кириллица) и нажать кнопку *Принять значение* .

Расположить стрелки на главном виде в соответствии с рисунком 4.1.

Нажать на вкладке *Компоновка* кнопку  *Выносной...*. Выбрать кромку фаски на виде сверху (рисунок 4.44). Нарисовать сплайн вокруг выбранной точки и внутри местного сечения. Завершить рисование сплайна нажатием средней кнопки мыши, при этом сплайн замыкается автоматически. Нажать левой кнопкой мыши в свободном месте чертежа для создания выносного элемента.

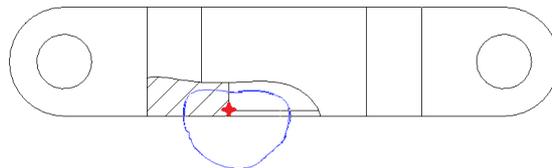


Рисунок 4.44 – Создание выносного элемента

Двойным нажатием левой кнопки мыши на выносном элементе открыть окно *Вид чертежа*. В поле *Имя вида* ввести значение «Б». Перейти во вкладку *Масштаб* и ввести значение 2 в поле *Свой масштаб*. Нажать кнопку *ОК*.

При необходимости изменения положения созданных видов на панели инструментов снять галочку с опции *Вид* → *Блокировать движение видов*.

Результат действий по созданию видов показан на рисунке 4.45.

Перейти на вкладку *Аннотации*. Выбрать и удалить названия местного сечения *TOP-TOP*.

Нажать кнопку *Показать аннотации модели* (рисунок 4.46, а). В открывшемся окне перейти на вкладку *Показать опорные элементы модели* . Нажать левой кнопкой мыши на поле главного вида (рисунок 4.46, б – внутри красного прямоугольника). Снять выделение с осей согласно рисунку 4.46, б. Нажать кнопку *ОК*. Повторить операции для видов сверху и слева согласно рисункам 4.46, в, г.

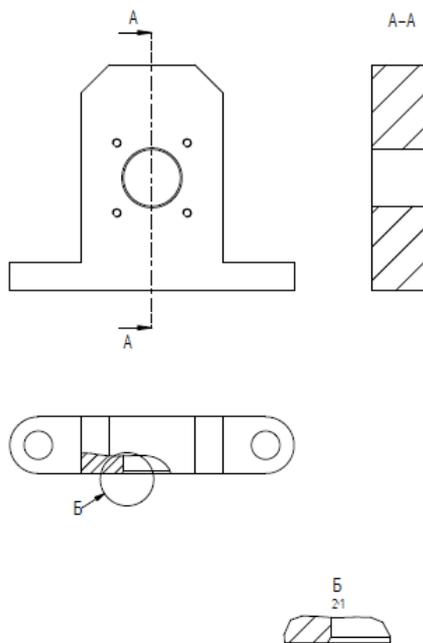


Рисунок 4.45 – Виды чертежа

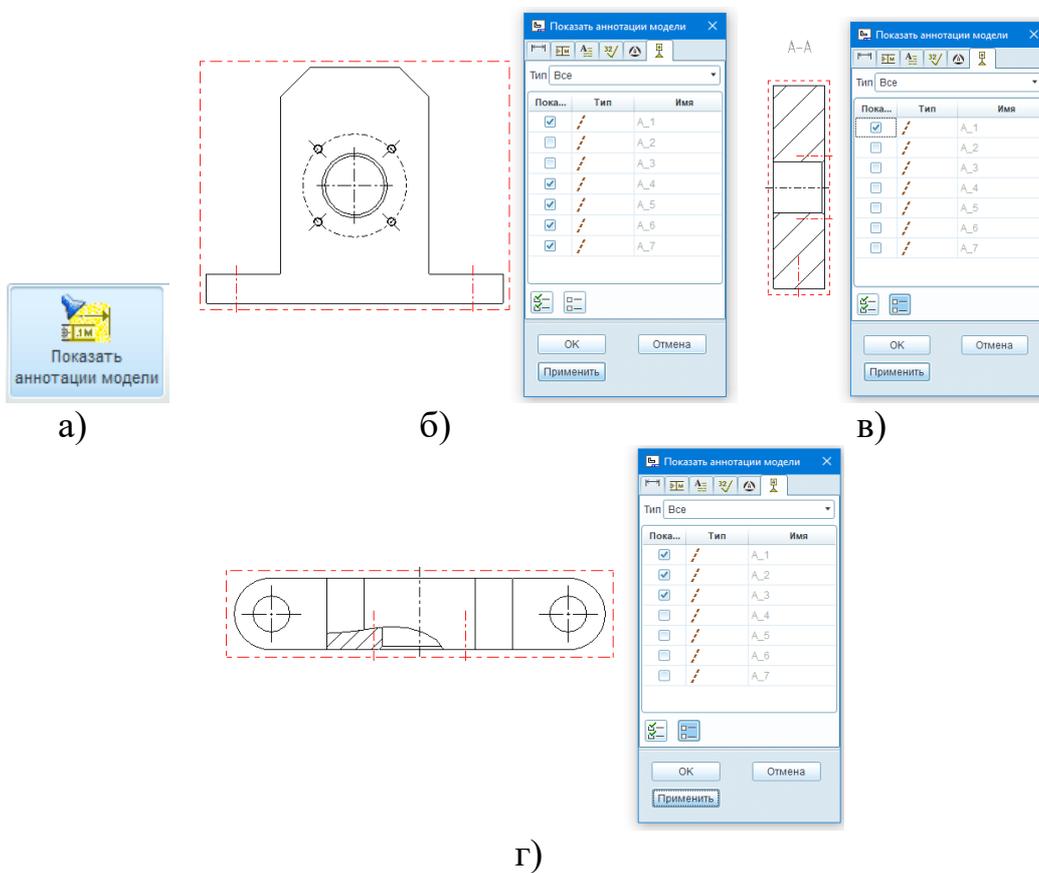


Рисунок 4.46 – Вызов опорных осей



Выделить на главном виде размер 10x45°. Нажать и подержать правую кнопку мыши. Выбрать опцию контекстного меню *Свойства*.

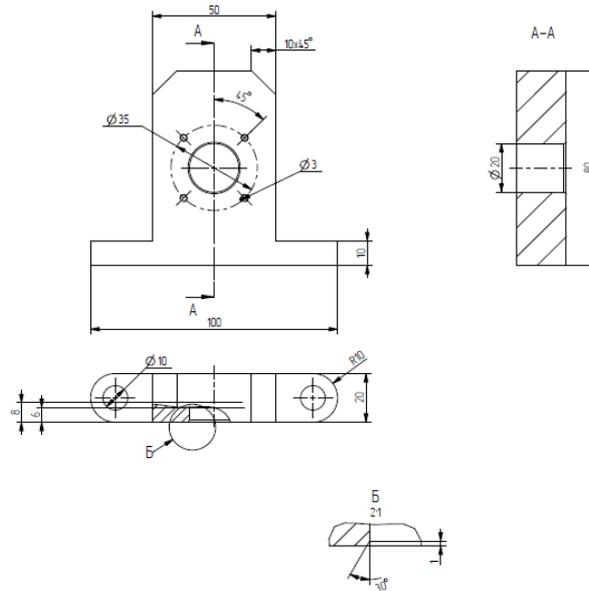


Рисунок 4.48 – Упорядочивание размеров

В окне *Свойства размера* перейти во вкладку *Изображение*. В поле *Задать текст размера* добавить текст в соответствии с рисунком 4.49. Нажать кнопку *ОК*.

Выполнить аналогичные действия с размерами на виде сверху R10 и Ø10 в соответствии с рисунком 4.1.

Выделить на главном виде размер 35. Открыть окно *Свойства размера* и перейти во вкладку *Изображение*. В поле *Изображение* выбрать опцию *Базовый*. Нажать кнопку *ОК*.

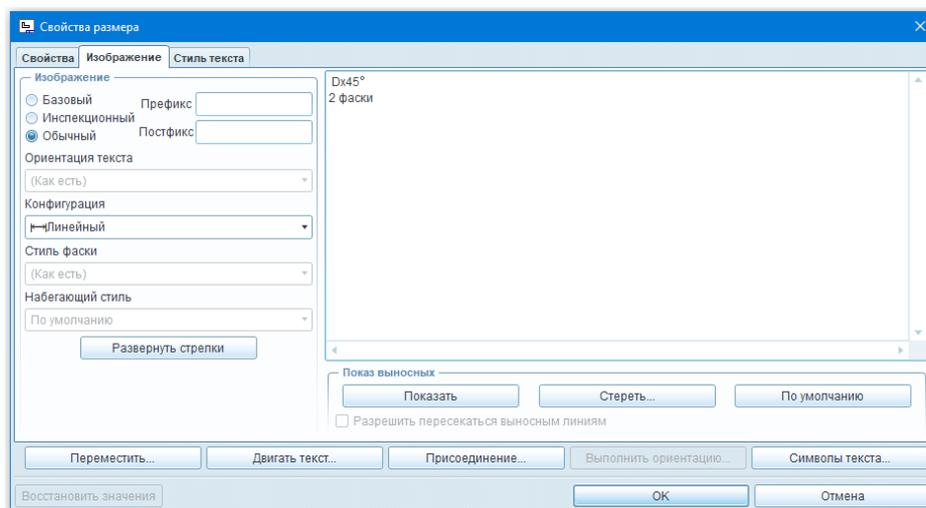
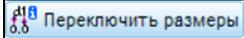


Рисунок 4.49 – Редактирование подписи размера

Нажать кнопку . При этом отображение всех текстовых элементов чертежа переключается из численного значения в символьное. Записать символьные значения размеров 6 и 8 на виде сверху (d28 и d35) и нажать повторно кнопку .

Выделить на главном виде размер Ø3. Открыть окно *Свойства размера* и перейти во вкладку *Изображение*. В поле *Изображение* нажать кнопку *Развернуть* стрелки. В поле *Задать текст размера* добавить текст в соответствии рисунком 4.50. Символы диаметра и позиционного допуска доступны при нажатии кнопки *Символы текста...* Нажать кнопку *Развернуть стрелки* столько раз, сколько необходимо для корректного отображения выносной линии в соответствии с рисунком 4.1. Нажать кнопку *ОК*.

4 отв. Ø @Dx&d28-&d35  
@[Φ@]@[0.2

Рисунок 4.50 – Указание позиционного допуска

На виде сверху выделить размеры 6 и 8. Нажать и подержать правую кнопку мыши. Выбрать опцию контекстного меню *Стереть*.

Выделить на виде слева размер Ø20. Открыть окно *Свойства размера* и перейти во вкладку *Свойства*. В поле *Допуск* выбрать: *Режим допуска – Плюс-минус, Таблица допусков – Отверстие, Имя таблицы – H12*. Нажать кнопку *ОК*.

Выделить на главном виде размер 50. Открыть окно *Свойства размера* и перейти во вкладку *Свойства*. В поле *Допуск* выбрать *Режим допуска – Плюс-минус, Таблица допусков – нет, Верхнее отклонение – 0, Нижнее отклонение – -0.2*. Нажать кнопку *ОК*.

Выделить на виде сверху размер 80. Открыть окно *Свойства размера* и перейти во вкладку *Свойства*. В поле *Допуск* выбрать *Режим допуска – Симметричный, Таблица допусков – нет, Допуск – 0.2*.

Нажать кнопку *Пользовательский символ* . В открывшемся окне в поле *Определение* нажать кнопку *Просмотр*. Выбрать файл «ostalnoe\_Ra\_new.sym» и нажать кнопку *Открыть*. Перейти во вкладку *Переменный текст* окна *Пользовательский символ*. В поле 5 выбрать из выпадающего списка (или ввести вручную) значение «5». Разместить символ в правом верхнем углу чертежа. Нажать кнопку *ОК*.

Нажать кнопку *Пользовательский символ* . В открывшемся окне в поле *Определение* нажать кнопку *Просмотр*. Выбрать файл «standard\_ra.sym» и нажать кнопку *Открыть*. В поле *Размещение* окна *Пользовательский символ* выбрать *Тип – На объекте*. Перейти во вкладку *Группирование*. Выбрать опции KRYSHKA, KRY\_2. Перейти во вкладку *Переменный текст*. В поле б3 выбрать из выпадающего списка (или ввести вручную) значение «1.25». Выбрать выносную линию размера Ø20 H12<sup>(+0.21)</sup>. Нажать среднюю кнопку мыши на любом месте поля чертежа. Нажать кнопку *ОК*.

Нажать кнопку *Пользовательский символ* . В открывшемся окне в поле *Определение* из выпадающего списка *Имя символа* выбрать «STANDARD\_RA». В поле *Размещение* выбрать *Тип – С выносками, Следующая выноска – На объекте, Острые стрелки – Стрелка*. Перейти во вкладку *Группирование* окна *Пользовательский символ*. Выбрать опции KRYSHKA, KRY\_2 и POLKA, POL\_2. Перейти во вкладку *Переменный текст* окна *Пользовательский символ*. В поле б3 выбрать из выпадающего списка (или ввести вручную) значение «1.25». Выбрать нижнюю выносную линию размера 80 на виде слева и разместить символ в соответствии с рисунком 4.1. Нажать среднюю кнопку мыши на любом месте поля чертежа. Нажать кнопку *ОК*.

Повторить действия и поставить символ шероховатости на нижнюю выносную линию размера 20 на виде сверху в соответствии с рисунком 4.1.

Нажать кнопку *Заметка* . В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать опции в соответствии с рисунком 4.51. Нажать кнопку *Создать заметку*. В обновившемся окне *Менеджер меню* выбрать опцию *Треугольник*. Выбрать нижнюю выносную линию размера 80 на виде слева и разместить заметку в соответствии с рисунком 4.1. В поле *Введите ЗАМЕТКУ* ввести значение «@[B@]». Нажать кнопку *Принять значение*  два раза. В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать *Готово/Возврат*.

Нажать кнопку *Заметка* . В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать опции в соответствии с рисунком 4.51. Нажать кнопку *Создать заметку*. В обновившемся окне *Менеджер меню* выбрать опцию *Стрелка*. Выбрать нижнюю выносную линию размера 20 на виде сверху и разместить заметку в соответствии с рисунком 4.1. В поле *Введите ЗАМЕТКУ* ввести значение «@[⊥@]@[0.1@]@[B@]». Нажать кнопку *Принять значение*  два раза. В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать *Готово/Возврат*.

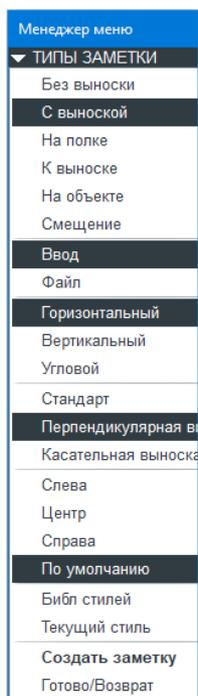


Рисунок 4.51 – Указание базы и допуска расположения

Нажать кнопку *Заметка* . В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать опцию *Без выноски*. Нажать кнопку *Создать заметку* и указать место для ее создания, нажав левую кнопку мыши над основной надписью. В поле *Введите ЗАМЕТКУ* ввести значение «ТТ по ОСТ4 Г0.070.014.». Нажать кнопку *Принять значение*  два раза. В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать *Готово/Возврат*.

Перейти во вкладку *Компоновка*. Выбрать опцию *pdf* и нажать кнопку *Настройки*. В поле *Цвет* открывшегося окна *Настройки экспорта PDF* выбрать опцию *Черно-белый*. Нажать кнопку *ОК*.

На вкладке *Компоновка* нажать кнопку *Экспорт*. В открывшемся окне *Сохранить копию* ввести наименование экспортируемого файла и его расположение. Нажать кнопку *ОК* (рисунок 4.52).

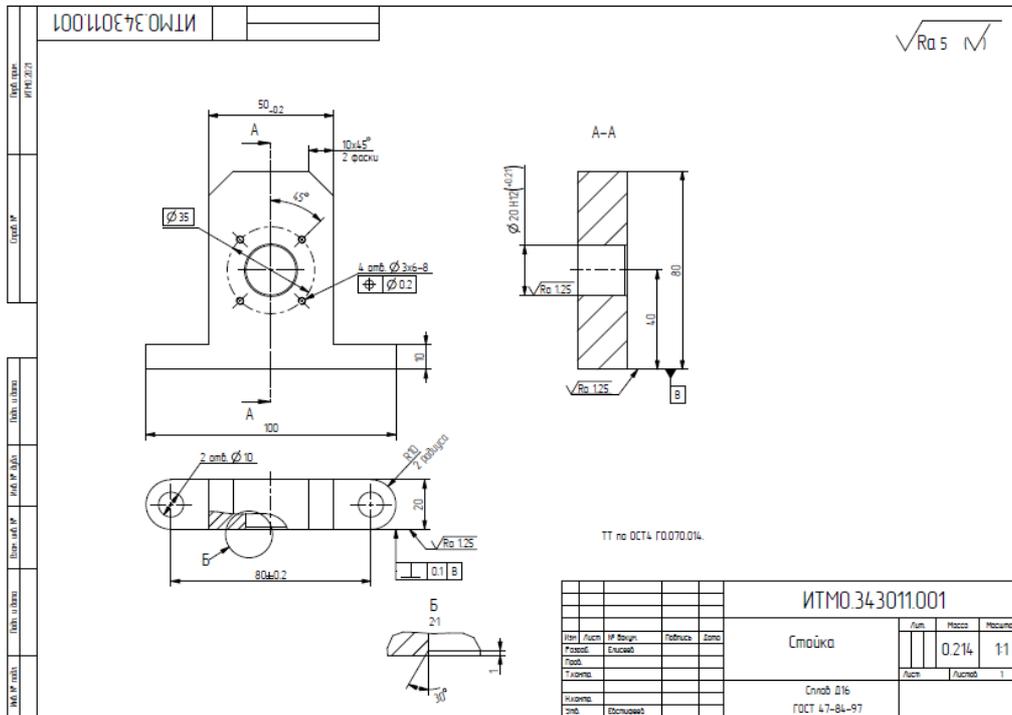


Рисунок 4.52 – Чертеж детали

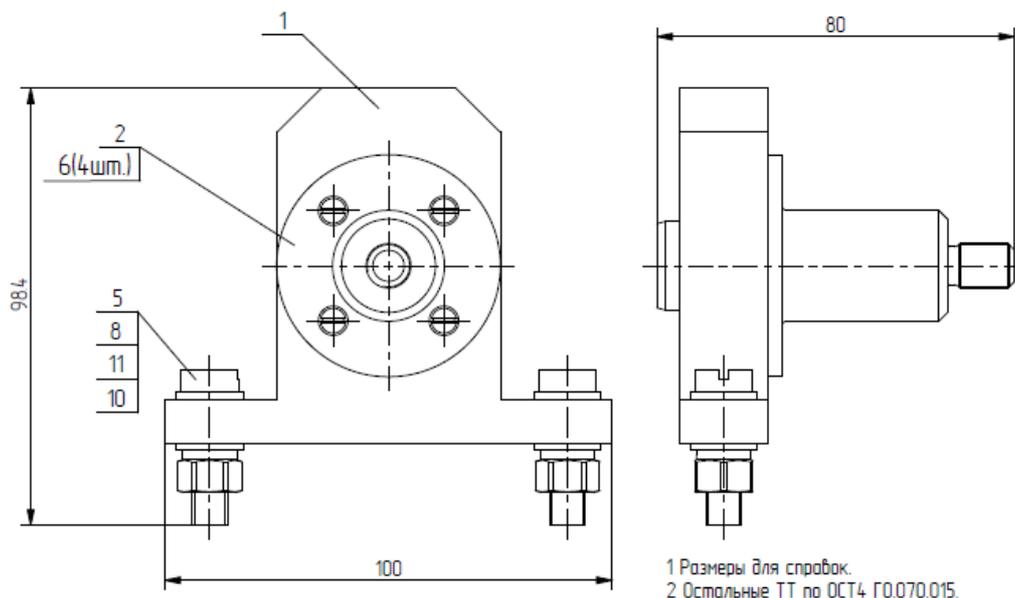
Сохранить модель, выбрав *Файл* → *Сохранить*. Нажать кнопку *OK*.

## 5. РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛЕЙ И ЧЕРТЕЖЕЙ СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ

### 5.1. Модель сборочной единицы

#### Задание.

Разработать 3D модель сборочной единицы, включающей полученные в разделе 5 детали (рисунок 5.1).



- 1 – Стойка ИТМО.343011.001, 2 – Втулка ИТМО.343011.002,  
5 – Винт М8х30 ГОСТ 1491-80, 6 – Винт М3х6 ГОСТ 17475-80,  
8 – Гайка М8 ГОСТ 5915-70, 10 – Шайба 8 ГОСТ 6402-70,  
11 – Шайба С8 ГОСТ 10450-78

Рисунок 5.1 – Эскиз сборочной единицы

#### Последовательность действий.

Выбрать рабочую директорию. *Файл* → *Задать рабочую папку*.

Создать новый объект в соответствии с рисунком 5.2.

Выбрать элемент *Собрать* . В открывшемся окне найти и выбрать файл «ИТМО\_343011\_001.prt», созданный согласно указаниям раздела 4.1. Нажать

кнопку *Открыть*. Выбрать *Размещение* → *Тип закрепления* → *По умолчанию* (рисунок 5.3). Нажать кнопку *Принять* .

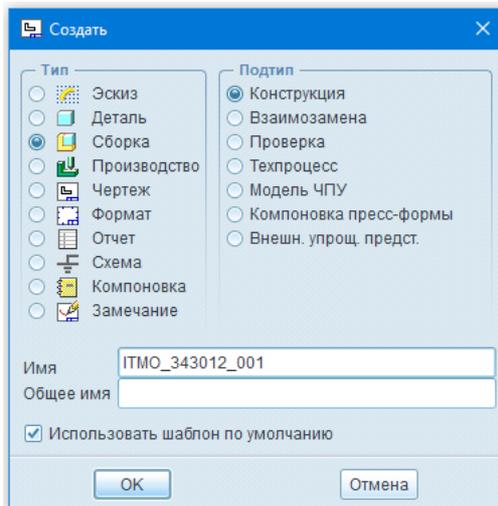


Рисунок 5.2 – Создание нового объекта

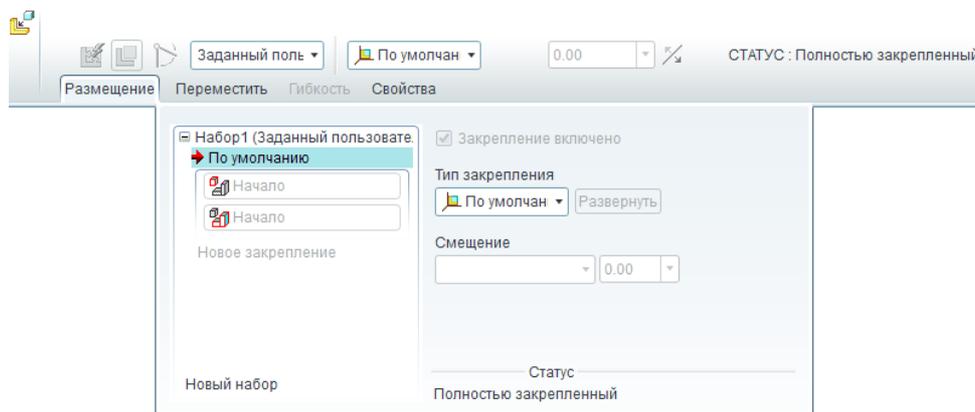


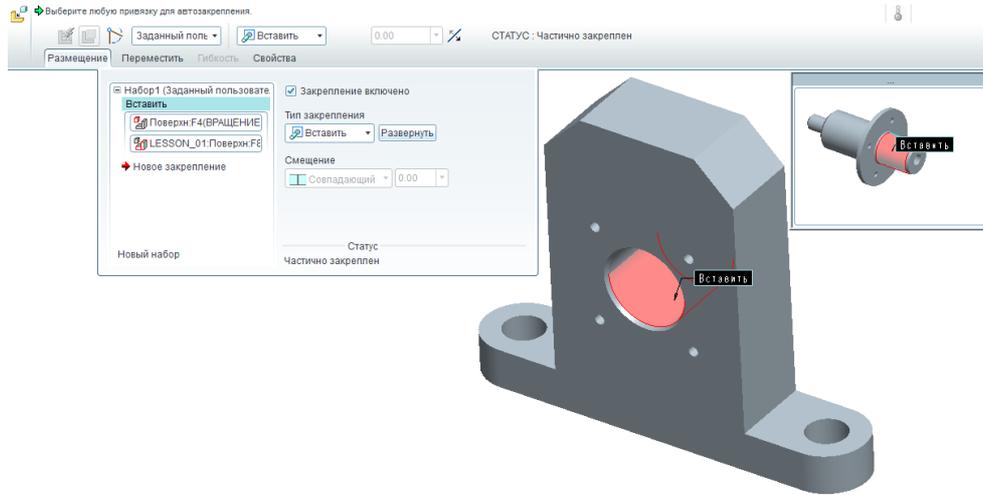
Рисунок 5.3 – Размещение первого компонента

Выбрать элемент *Собрать* . В открывшемся окне найти и выбрать файл «ITMO\_343011\_002.prt», созданный согласно указаниям раздела 4.2. Выбрать цилиндрические поверхности обеих деталей согласно рисунку 5.4, а. Нажать на кнопку *Новое закрепление* вкладки *Размещение*. Выбрать торцевые поверхности обеих деталей согласно рисунку 5.4, б.

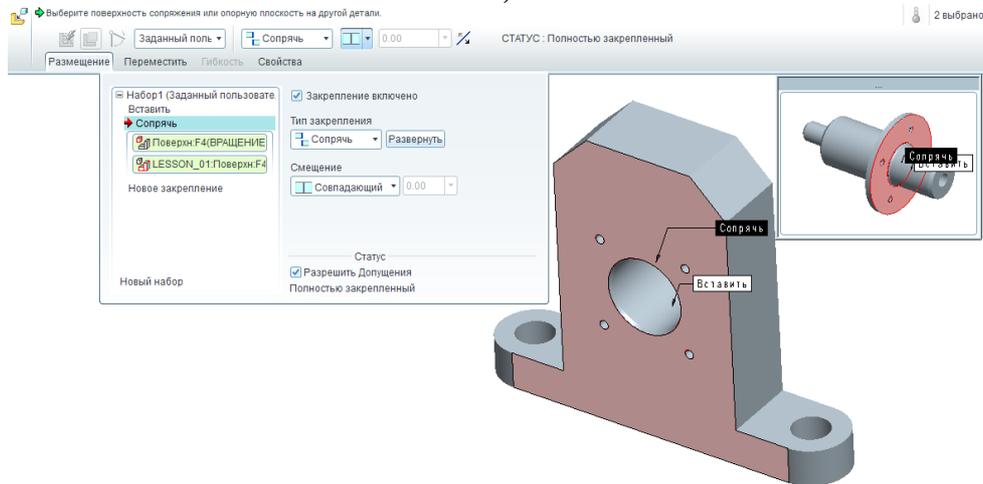
Нажать на кнопку *Новое закрепление* вкладки *Размещение*. Выбрать малые отверстия обеих деталей согласно рисунку 5.4, в. Нажать кнопку *Принять* .

Выбрать элемент *Собрать* . В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  Библиотека. Открыть файл «Крепеж/Винт/17475\_v.prt». В окне *Выбрать экземпляр* выбрать *K\_M3* → *K\_M3—б*. Для размещения винта выбрать

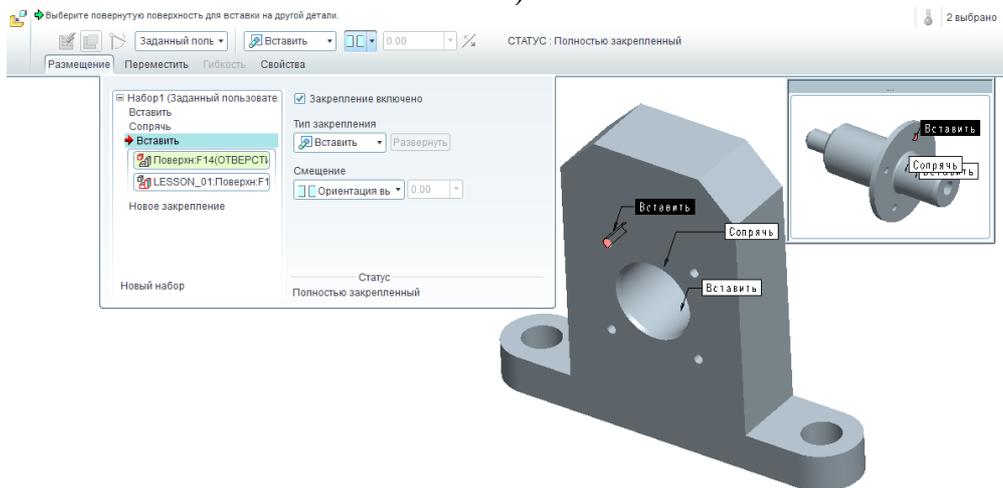
коническую поверхность одного из малых отверстий второй детали согласно рисунку 5.5. Нажать кнопку *Принять* .



а)



б)



в)

Рисунок 5.4 – Размещение второго компонента

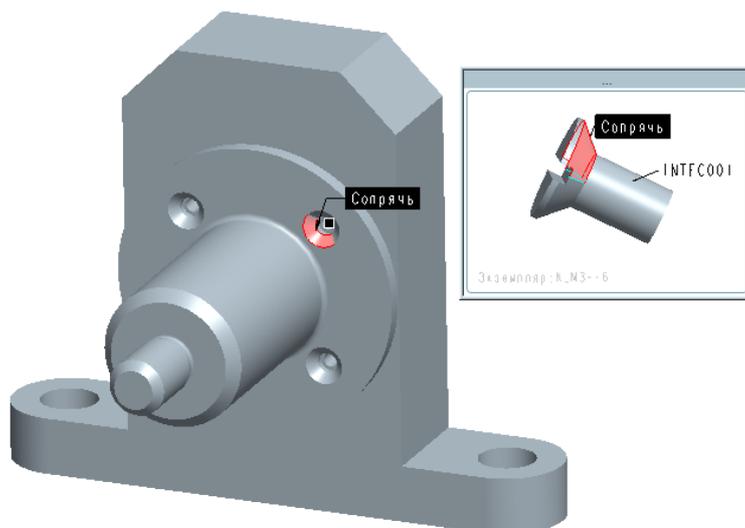


Рисунок 5.5 – Размещение винта

Выбрать размещенный винт. Создать элемент *Массив* . Выбрать тип *Привязка*. Нажать кнопку *Принять*  (рисунок 5.6).

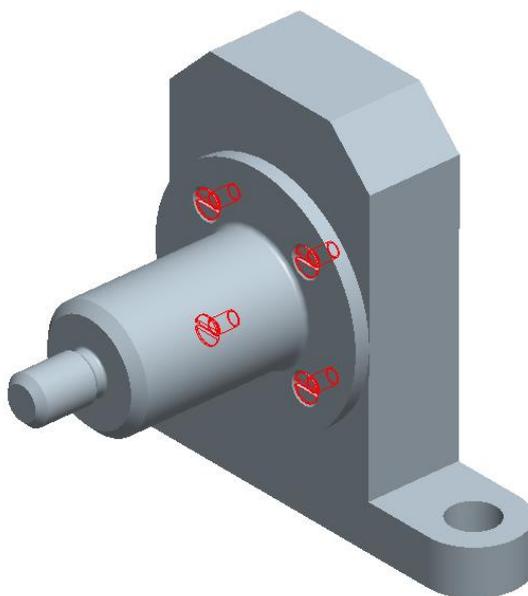


Рисунок 5.6 – Массив винтов

Выбрать элемент *Собрать* . В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  Библиотека. Открыть файл «Крепеж/Шайба/ 10450\_s.prt». В окне *Выбрать экземпляр* выбрать *SU\_M8*. Разместить шайбу согласно рисунку 5.7, а.

Выбрать элемент *Собрать* . В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  Библиотека. Открыть файл «Крепеж/Винт/1491\_v.prt». В окне

Выбрать экземпляр выбрать  $Z\_M8 \rightarrow Z\_M8-30$ . Разместить винт согласно рисунку 5.7, б, выбрав привязки к шайбе.

Выбрать элемент *Собрать* . В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  Библиотека. Открыть файл «Крепеж/Шайба/10450\_s.prt». В окне *Выбрать экземпляр* выбрать  $SU\_M8$ . Разместить шайбу согласно рисунку 5.7, в.

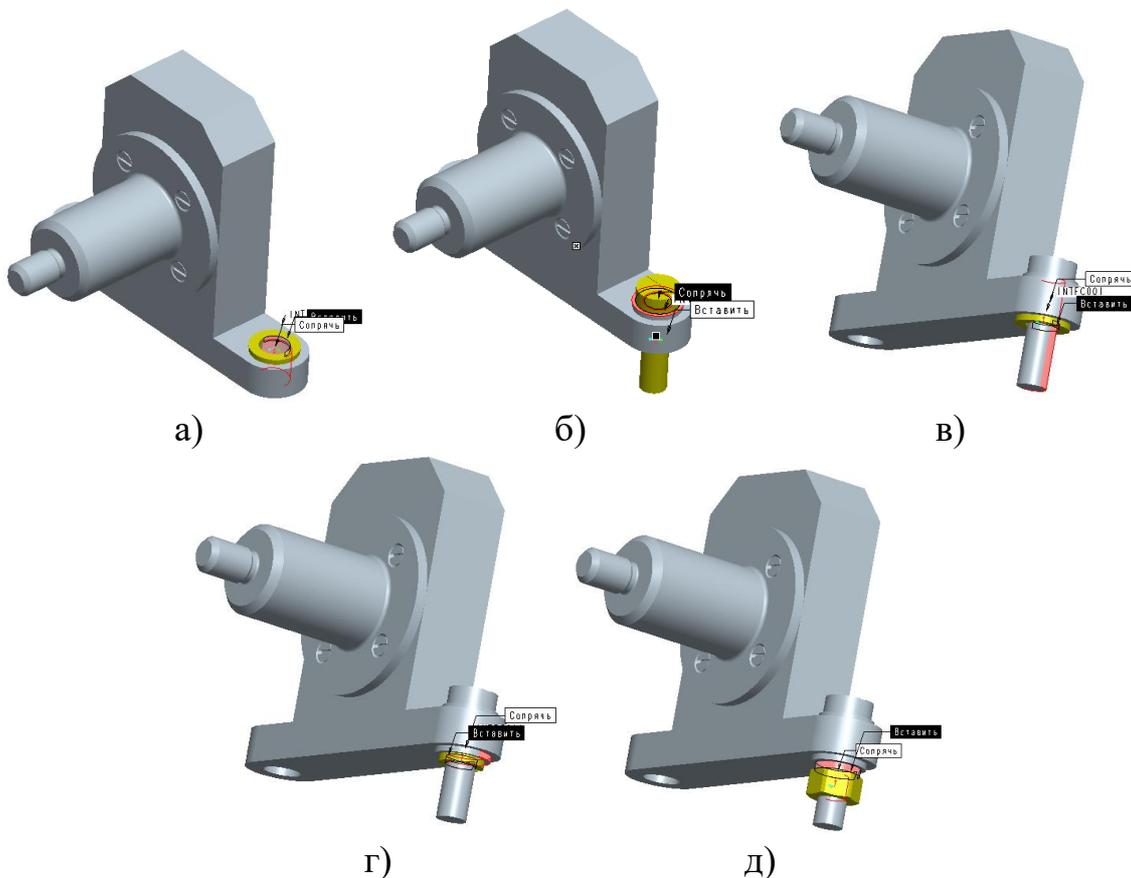


Рисунок 5.7 – Размещение стандартных компонентов

Выбрать элемент *Собрать* . В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  Библиотека. Открыть файл «Крепеж/Шайба/6402\_spr.prt». В окне *Выбрать экземпляр* выбрать  $6402\_SPR\_65G \rightarrow SPR\_8$ . Разместить шайбу согласно рисунку 5.7, г, выбрав привязки к шайбе «10450\_s.prt».

Выбрать элемент *Собрать* . В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  Библиотека. Открыть файл «Крепеж/Гайка/5915\_g.prt». В окне *Выбрать экземпляр* выбрать  $GSM\_M8$ . Разместить гайку согласно рисунку 5.7, д, выбрав привязки к шайбе «6402\_spr.prt».

Выбрать все крепежные компоненты, созданные по рисунку 5.7. Активировать на панели инструментов *Править*  $\rightarrow$  *Копировать*. Затем выбрать

опцию *Править* → *Специальная вставка*. В открывшемся одноименном окне выбрать настройки согласно рисунку 5.8.

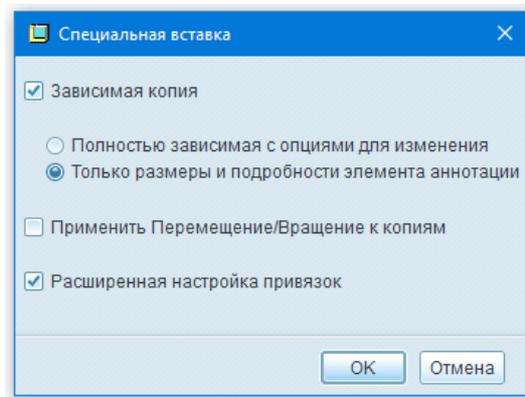


Рисунок 5.8 – Окно специальная вставка

В открывшемся окне *Расширенные настройки привязок* выбрать поверхности в соответствии с рисунком 5.9. Нажать кнопку *Принять*

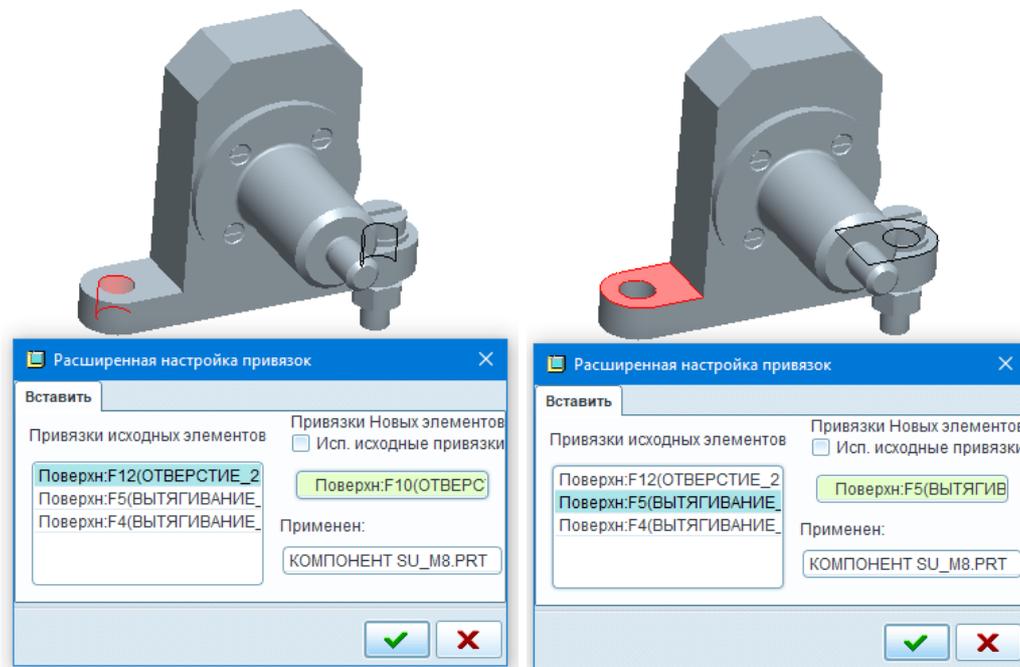


Рисунок 5.9 – Размещение скопированных компонентов

В открывшемся окне *Предварительный просмотр* нажать кнопку *Принять*

Результат разработки сборочной единицы приведен на рисунке 5.10.

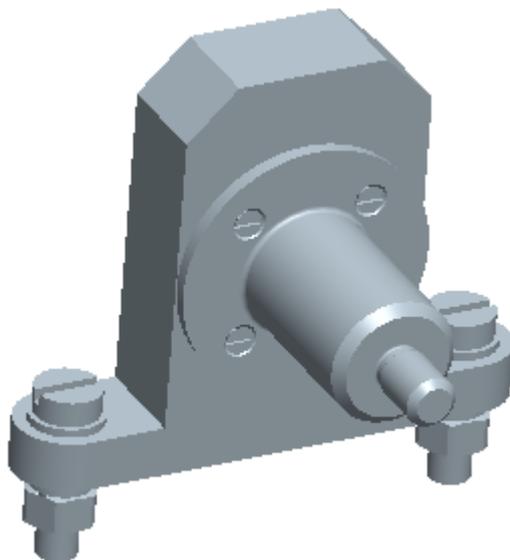


Рисунок 5.10 – Сборочная единица

## 5.2. Чертеж сборочной единицы

### Задание.

Разработать чертеж детали на основе эскиза, приведенного на рисунке 5.1.

### Последовательность действий.

Методики создания чертежей сборочных единиц, заполнения параметров, создания видов и т. п. аналогичны описанным в разделе 4.3.

Подготовить чертеж в соответствии с рисунком 5.11

Перейти во вкладку *Таблицы* и нажать кнопку  *Таблица из файла...*. В поле *Общие папки* открывшегося окна выбрать папку  *Библиотека* и открыть файл «Таблицы/specifikaciya\_wf.tbl». Разместить таблицу нажатием левой кнопки мыши в любом месте вне поля чертежа (рисунок 5.12).

На вкладке *Таблицы* нажать кнопку *Выноски позиции ведомости материалов* . В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать *Тип выноски* → *Пользовательский* и нажать на центральную часть созданной таблицы. В открывшейся вкладке *СИМВОЛ* выбрать *Вызвать* и открыть файл «Позиции/left\_1.sym». В окне *Менеджер меню* выбрать *Выноски позиции* → *Создать выноски* и нажать на главный вид чертежа. Вокруг вида появятся все доступные выноски, по одной для каждой позиции (рисунок 5.13).



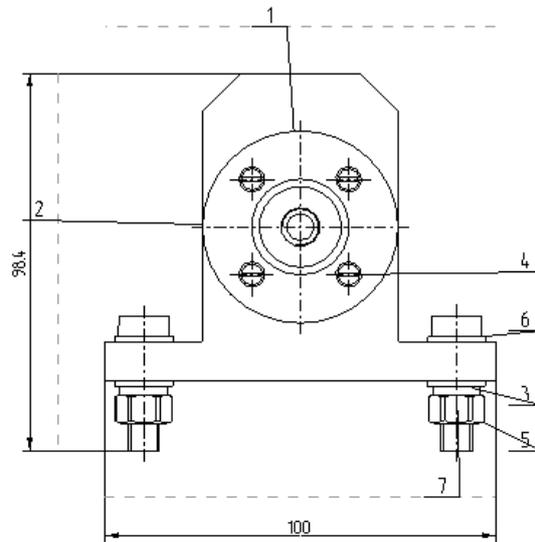


Рисунок 5.13 – Позиции на главном виде

В окне *Менеджер меню* выбрать *Выноски позиции* → *Другой символ*, зажать клавишу «ctrl» и выбрать выноски «5», «6» и «7». Нажать кнопку *ОК*. В открывшейся вкладке *СИМВОЛ* выбрать *Вызвать* и открыть файл «Позиции/left\_1\_stenka.sym».

В окне *Менеджер меню* выбрать *Выноски позиции* → *Другой символ* и выбрать выноску «4». В открывшейся вкладке *СИМВОЛ* выбрать *Вызвать* и открыть файл «Позиции/left\_4.sym».

В окне *Менеджер меню* выбрать *Выноски позиции* → *Объединить*. Последовательно нажать на выноску «4», затем на выноску «1». После выбрать выноски «7» и «6», «6» и «5», «5» и «3».

В окне *Менеджер меню* нажать *Готово*.

Упорядочить выноски в соответствии с рисунком 5.14.

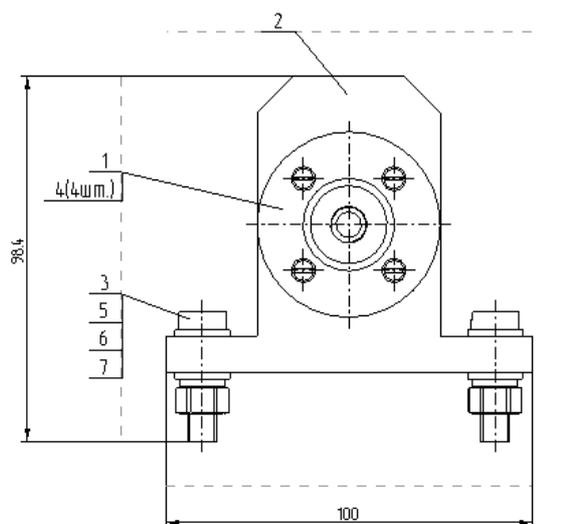
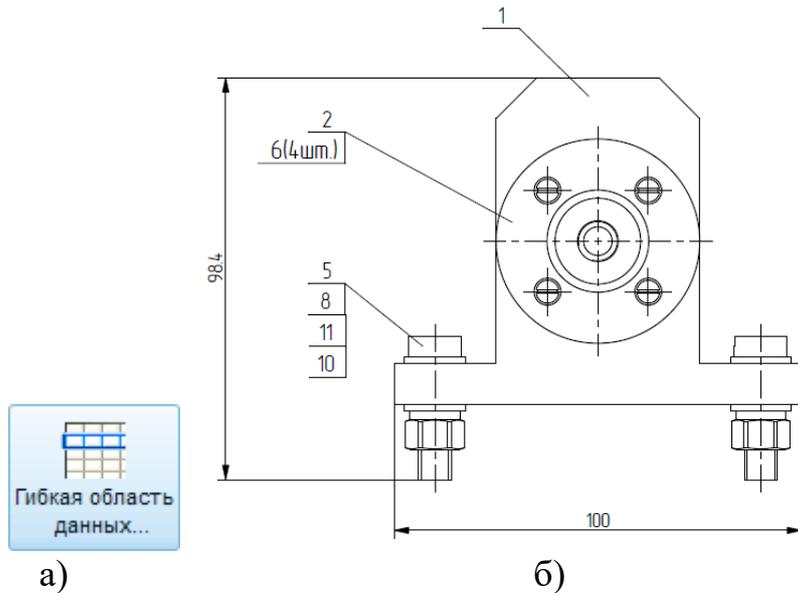


Рисунок 5.14 – Размещение позиционных выносок

На вкладке *Таблицы* нажать кнопку *Гибкая область данных* (рисунок 5.15, а). В открывшемся окне *Менеджер меню* выбрать *Фикс индекс* и нажать на область таблицы ниже строки с заголовком «Сборочные Единицы, Детали, Стандартные изделия, Прочие изделия».

В открывшейся вкладке *Фикс индекс* должны быть выбраны опции *Фиксировать* и *Запись*. Нажать левой кнопкой на строку со стойкой ИТМО.343011.001. В окне *Введите индекс для записи* ввести значение 1, нажать кнопку *Принять* . Повторить действия, введя для втулки ИТМО.343011.002 значение 2, винта «Z\_M8-30» – 5, винта «K\_M3—6» – 6, гайки «GSB\_M8» – 8, шайбы «SU\_M8» – 11, шайбы «SPR\_8» – 10. В окне *Менеджер меню* выбрать два раза *Готово*. На главном виде (рисунок 5.15, б) номера позиций изменятся в соответствии с рисунком 5.1.

На вкладке *Таблицы* раскрыть меню  *Сохранить как таблицу* и выбрать опцию  *Сохранить как текст*. Выбрать произвольное расположение и имя файла. Сохраненный файл пригоден для редактирования посредством текстового редактора, MS Excel или SPedit для создания файла спецификации.



а) б)  
Рисунок 5.15 – Изменение номеров позиций

Создать экспорт файла в формат .pdf согласно указаниям раздела 6.3 (рисунок 5.16).

ИТМО.34.3012.001СБ																																															
ИТМО.34.3012.001	Сборка ИР																																														
ИТМО.34.3012.001	ИТМО.34.3012.001	<p>1 Размеры для справок. 2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГОСТ0.015.</p>																																													
ИТМО.34.3012.001	ИТМО.34.3012.001	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">ИТМО.34.3012.001СБ</td> </tr> <tr> <td style="width: 5%;">Изм.</td> <td style="width: 5%;">Лист</td> <td style="width: 15%;">ИР.3012</td> <td style="width: 15%;">Подпись</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Сборка</td> <td></td> <td>Елсинов</td> <td></td> <td>11</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Сборочный чертеж</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">Листов</td> </tr> <tr> <td colspan="6"></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Копировать</td> <td colspan="2" style="text-align: right;">Формат А3</td> </tr> </table>	ИТМО.34.3012.001СБ					Изм.	Лист	ИР.3012	Подпись	Дата				Сборка		Елсинов		11				Сборочный чертеж						Лист	Листов							1	1	Копировать						Формат А3	
ИТМО.34.3012.001СБ																																															
Изм.	Лист	ИР.3012	Подпись	Дата																																											
Сборка		Елсинов		11																																											
Сборочный чертеж						Лист	Листов																																								
						1	1																																								
Копировать						Формат А3																																									

Рисунок 5.16 – Чертеж сборочной единицы

Сохранить модель, выбрав *Файл* → *Сохранить*. Нажать кнопку *OK*.

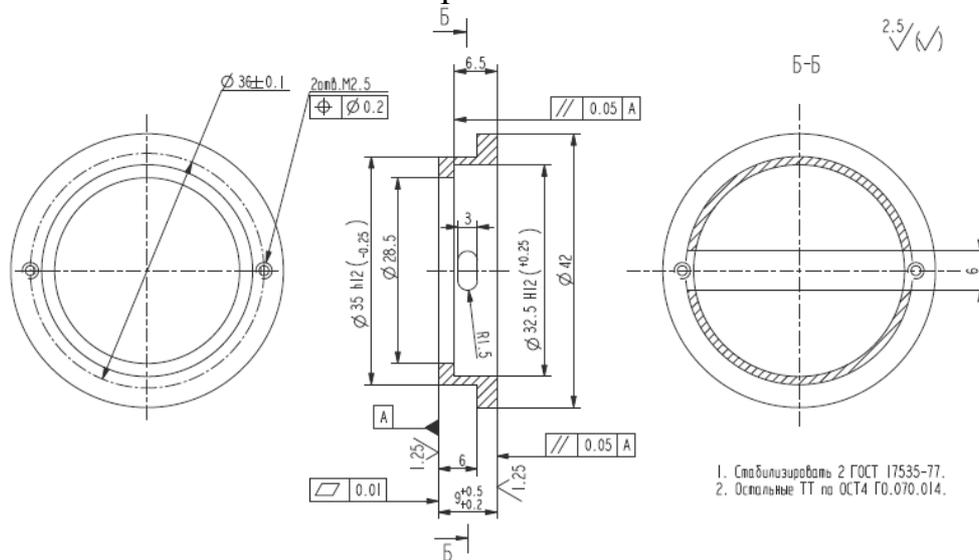
## 6. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### 6.1. Задание №1 – Разработка 3D модели и чертежа детали

#### Задание.

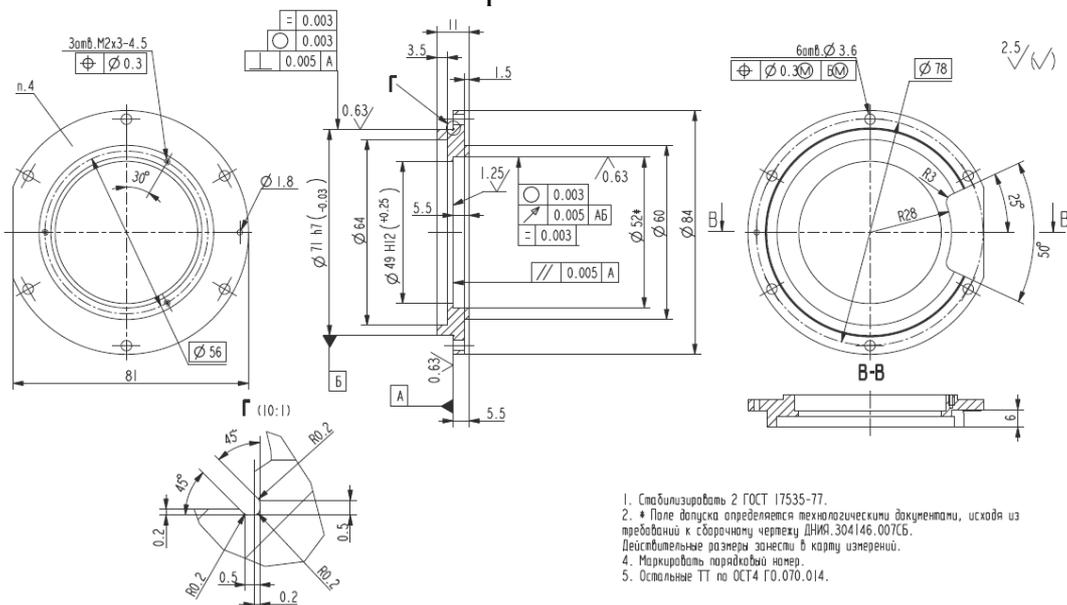
Разработать 3D модель и чертеж детали на основе эскиза в соответствии с вариантом.

#### Вариант №1



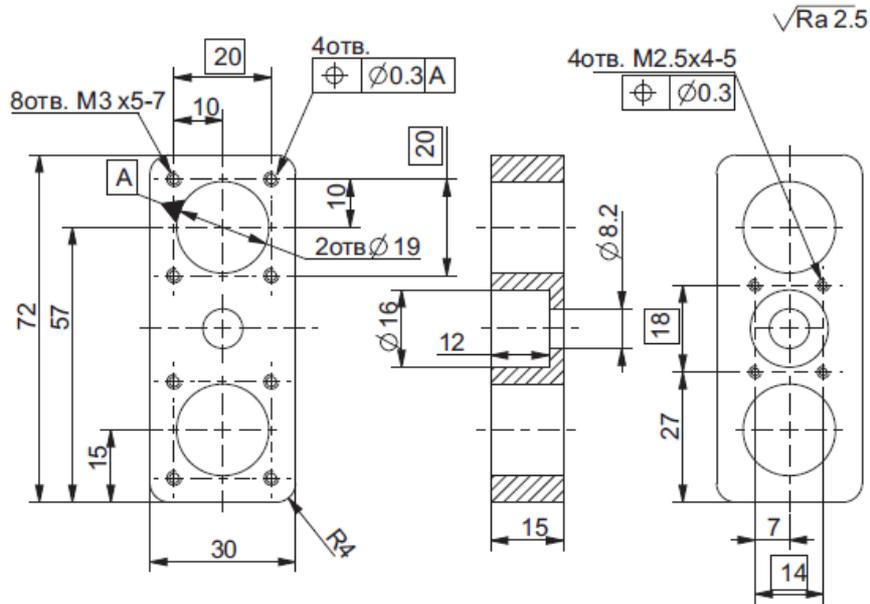
Наименование: Втулка; Материал: Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72

#### Вариант №2



Наименование: Кольцо; Материал: Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72

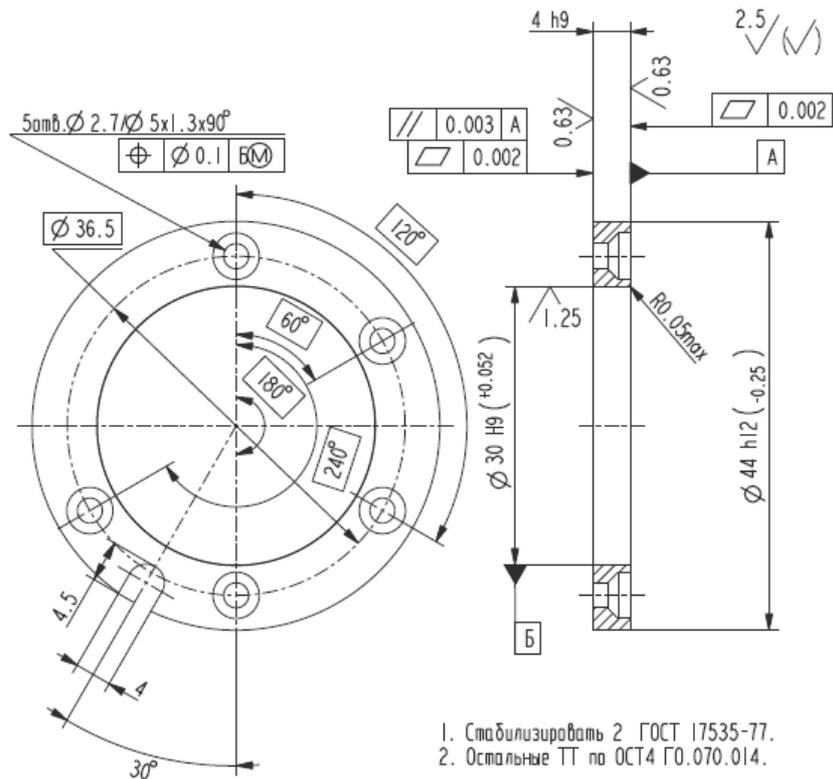
### Вариант №3



1. Покрытие: краска эпокси-полиэфирная типа П-ЭП-64-6-90, защитная (матовая, текстура "муар", цвет по каталогу RAL 6003). IV. OM2. по ТУ 301-10-0-287-89. ТТП 5 РД5.9715-89. Допускается замена лакокрасочного покрытия на эмаль ЭП-140, защитная. IV. OM2.
2. Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.014.

Наименование: Панель; Материал: Сталь 12X18Н9Т ГОСТ 5632-72

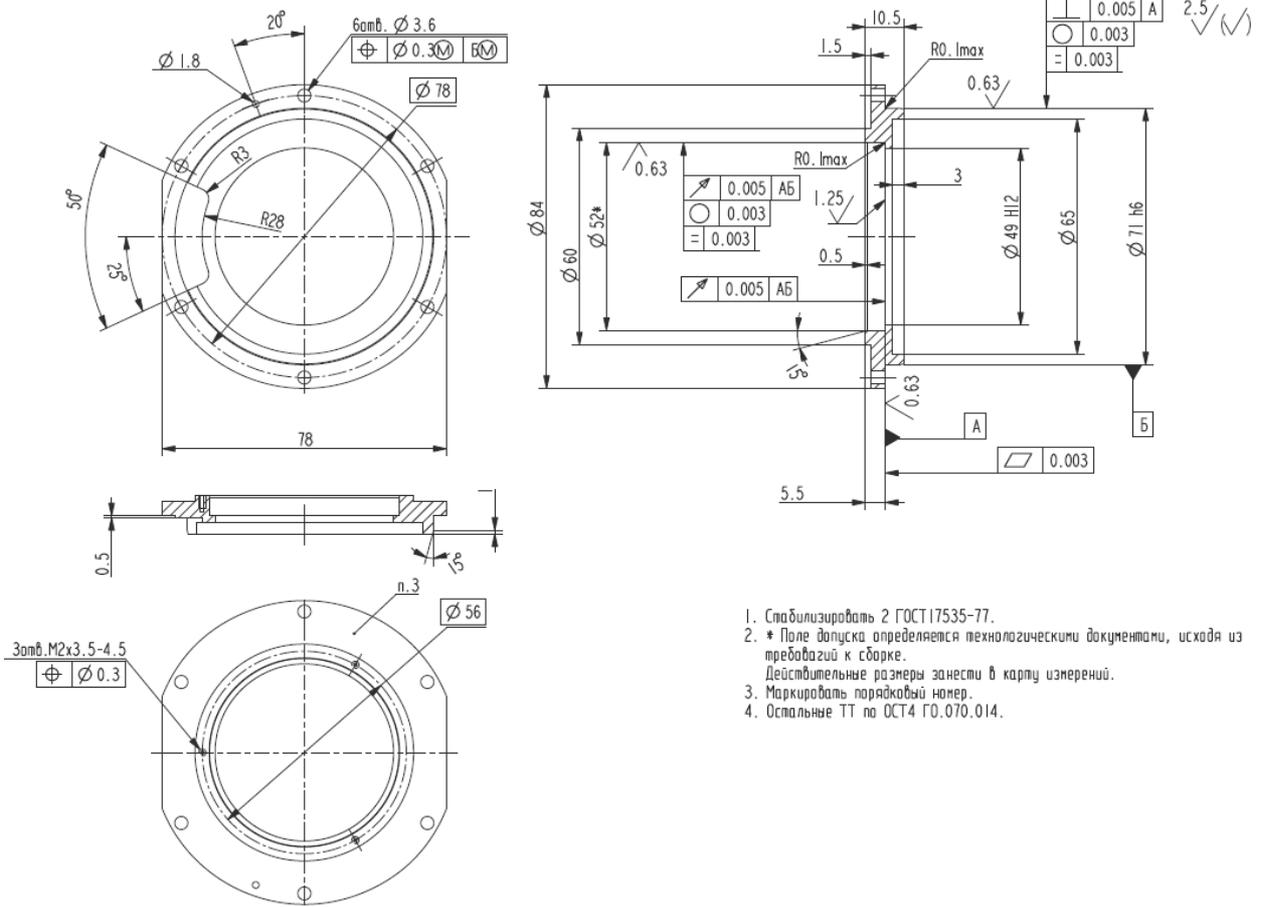
### Вариант №4



1. Стабилизировать 2 ГОСТ 17535-77.
2. Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.014.

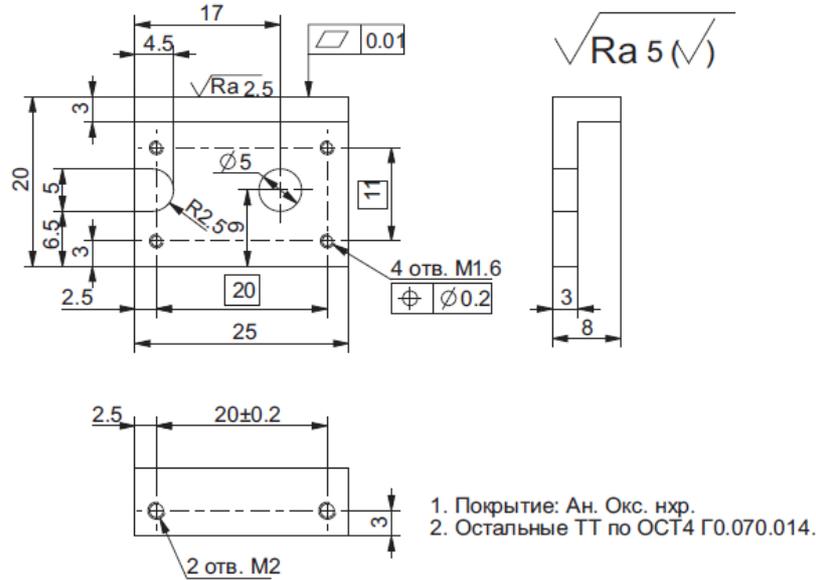
Наименование: Кольцо; Материал: Сталь 12X18Н9Т ГОСТ 5632-72

### Вариант №5



Наименование: Кольцо; Материал: Сталь 12X18H9T ГОСТ 5632-72

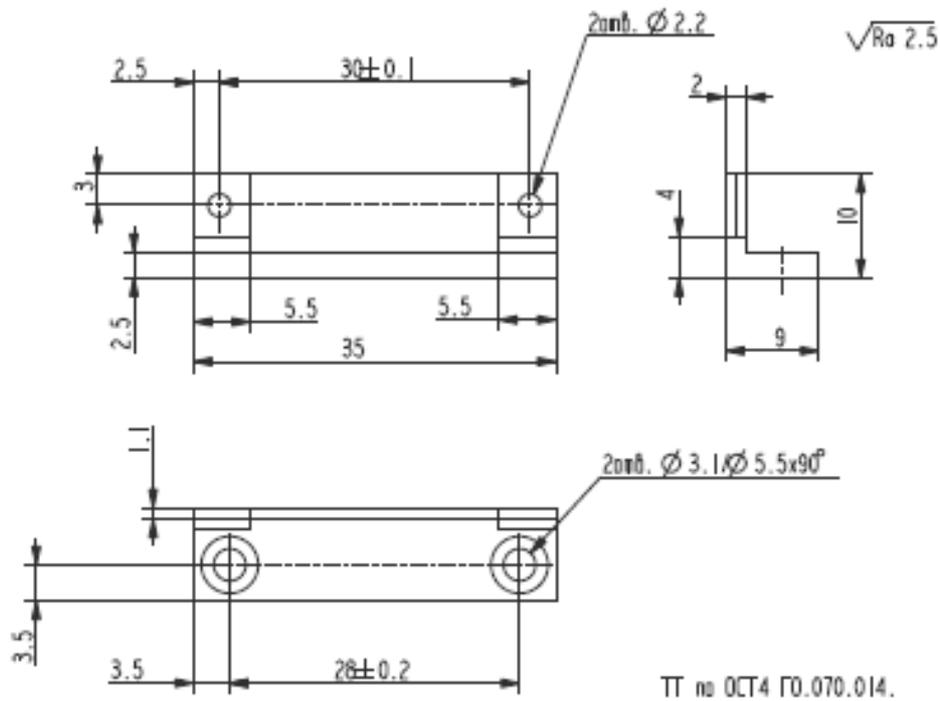
### Вариант №6



Наименование: Уголок; Материал: Сплав Д16 ГОСТ 4784-97

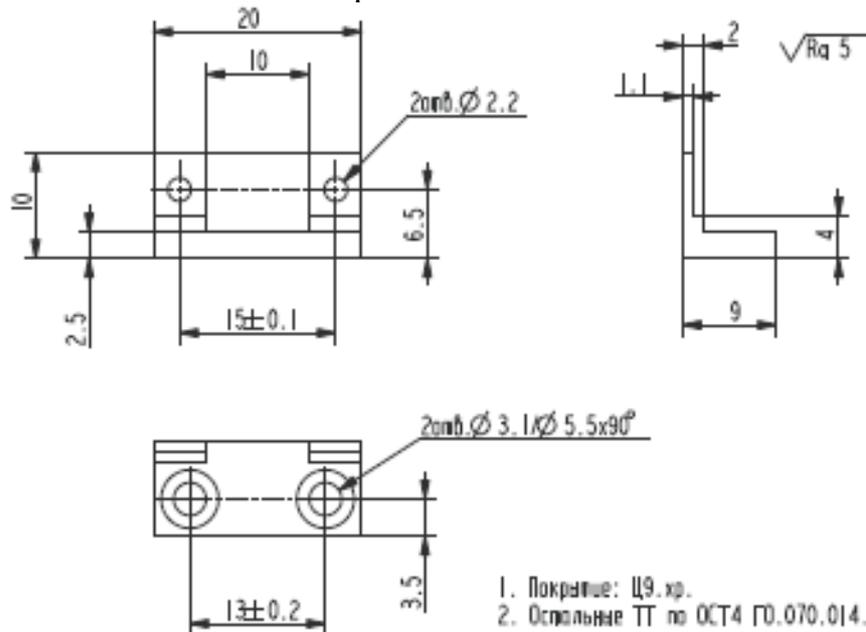


Вариант №9



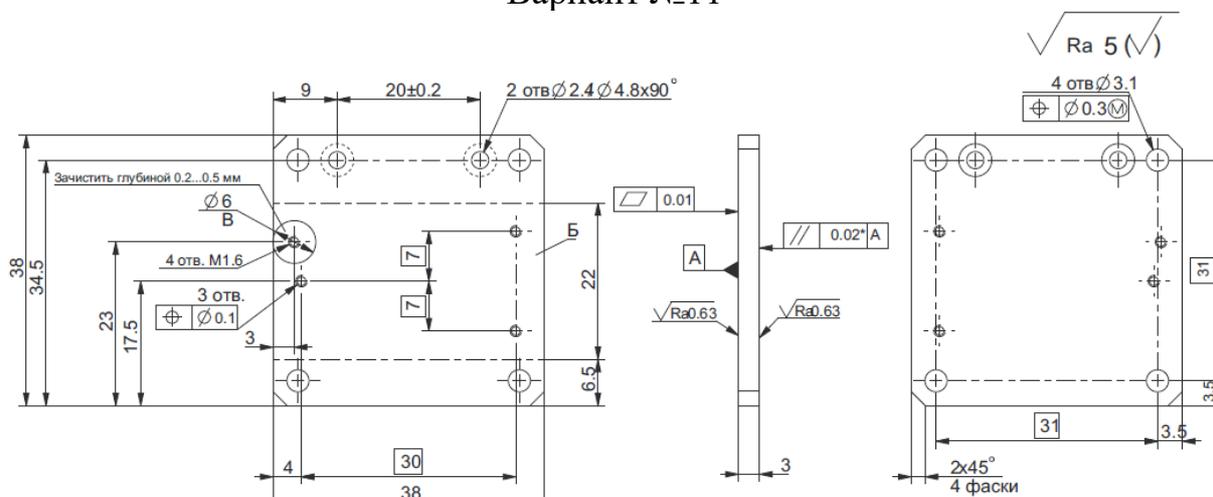
Наименование: Кронштейн; Материал: Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72

Вариант №10



Наименование: Кронштейн; Материал: Сталь 10 ГОСТ 1050-88

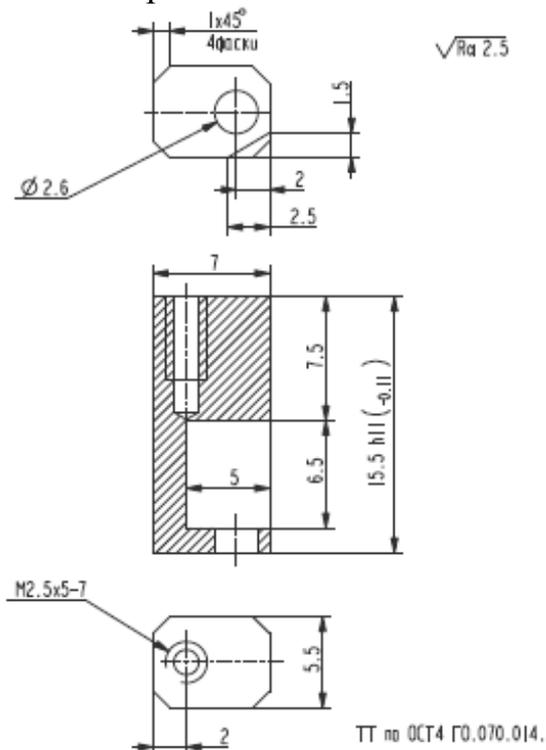
## Вариант №11



1. Покрытие: Ан. Окс. эм, кроме поверхности В. Площадь эматалирования - 0.33 дм
2. \* Контролировать поверхность В.
- Допускается занижение поверхности вне зоны В на 0.05...0.1 мм.
3. Стабилизировать 2 ГОСТ 17535-77.
4. Надписи гравировать шрифт 2-Пр3 ГОСТ 26.008-85 симметрично контура детали.
- Втирание в гравировку - эмаль ПФ-115, черная, ОМЗ.
5. Допускается замена материала на сплав Д16Т.
6. Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.014.

Наименование: Лист; Материал: Сплав В95 ГОСТ 4784-97

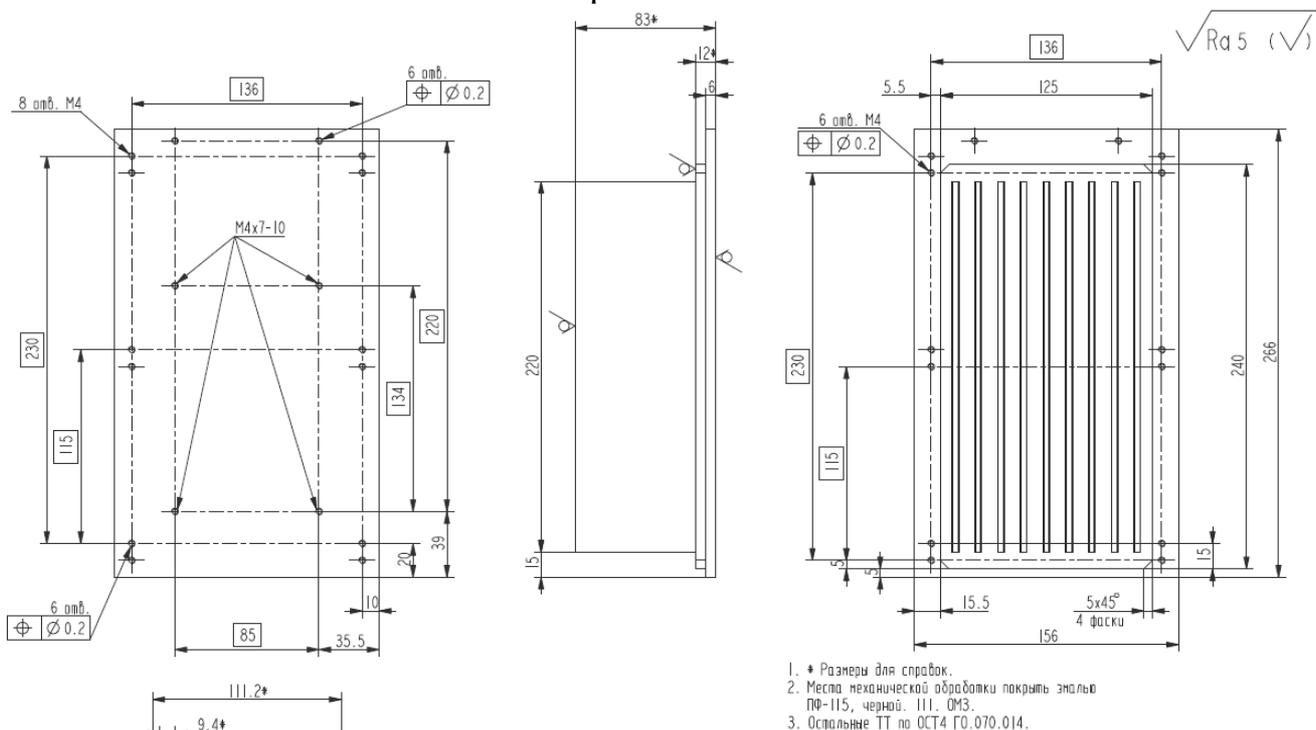
## Вариант №12



ТТ по ОСТ4 ГО.070.014.

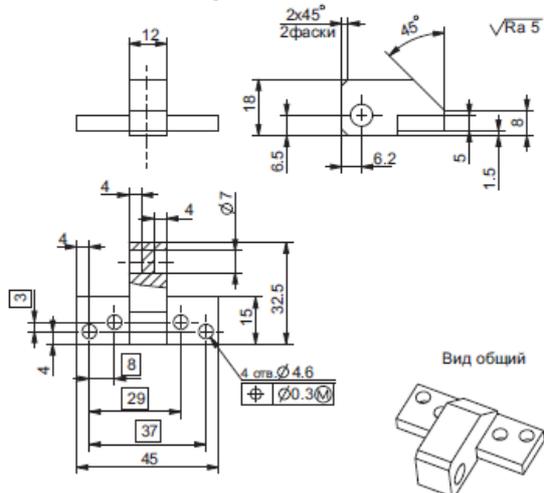
Наименование: Стойка; Материал: Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72

### Вариант №13



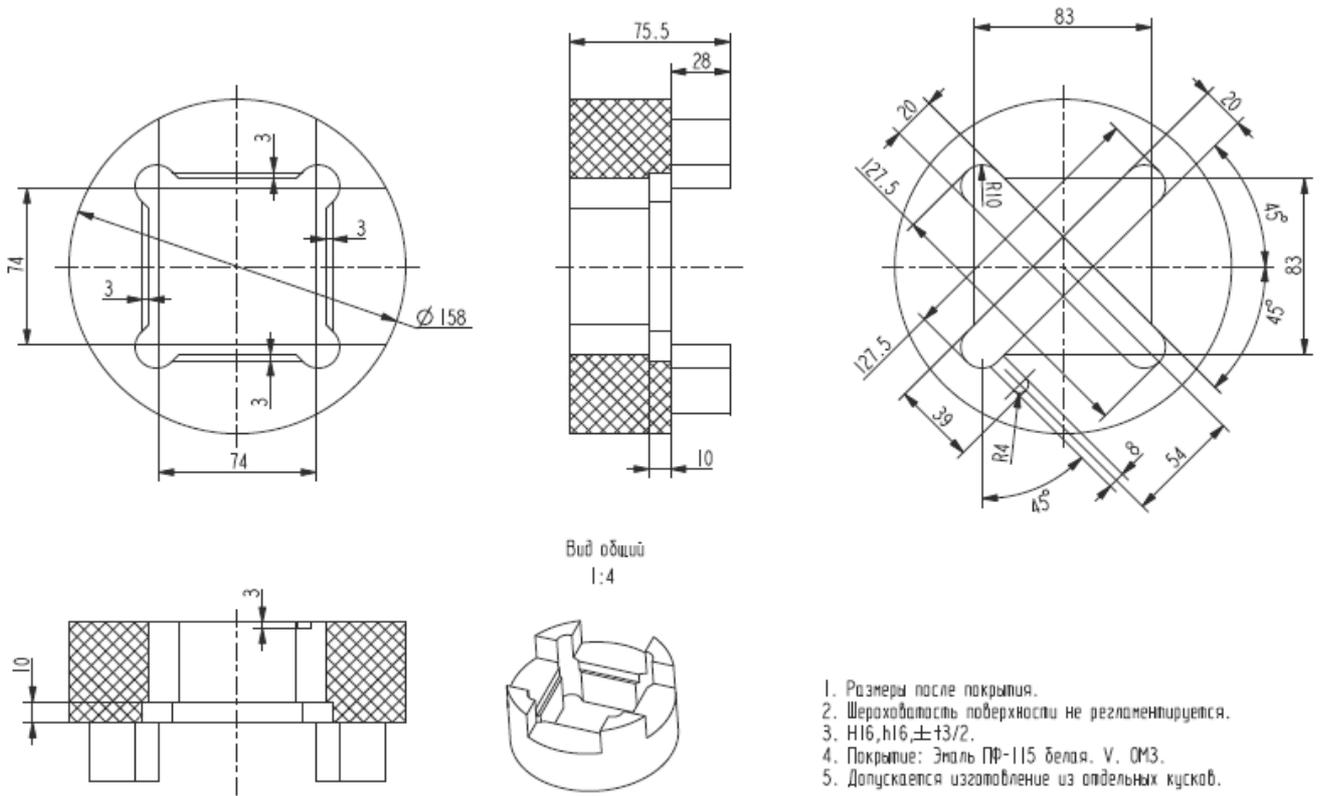
Наименование: Радиатор; Материал: Сплав Д16 ГОСТ 4784-97

### Вариант №14



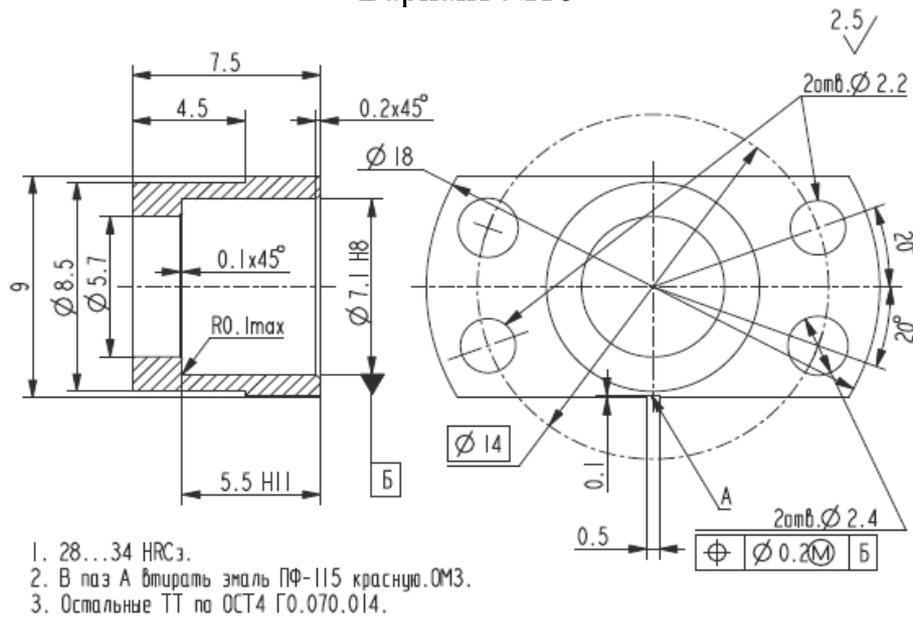
Наименование: Кронштейн; Материал: Сталь 10 ГОСТ 1050-2013

### Вариант №15



Наименование: Втулка; Материал: Пенопласт полистирольный плиточный марки ПС-1-200 ТУ-6-05-1178-87

### Вариант №16



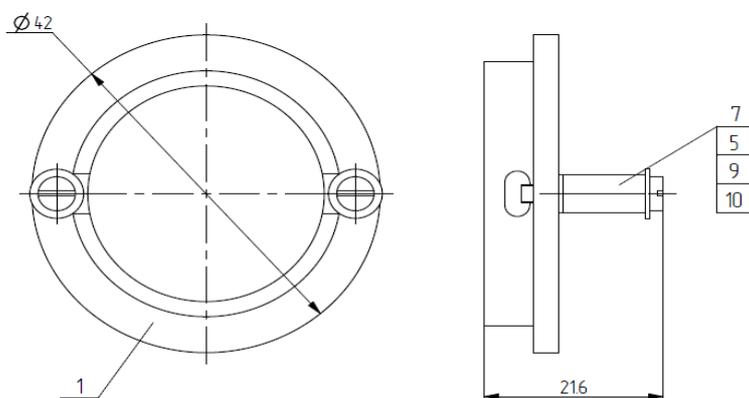
Наименование: Втулка; Материал: Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 5632-72

## 6.2. Задание №2 – Разработка 3D модели и чертежа сборочной единицы

### Задание.

Разработать 3D модель и чертеж сборочной единицы на основе эскиза в соответствии с вариантом.

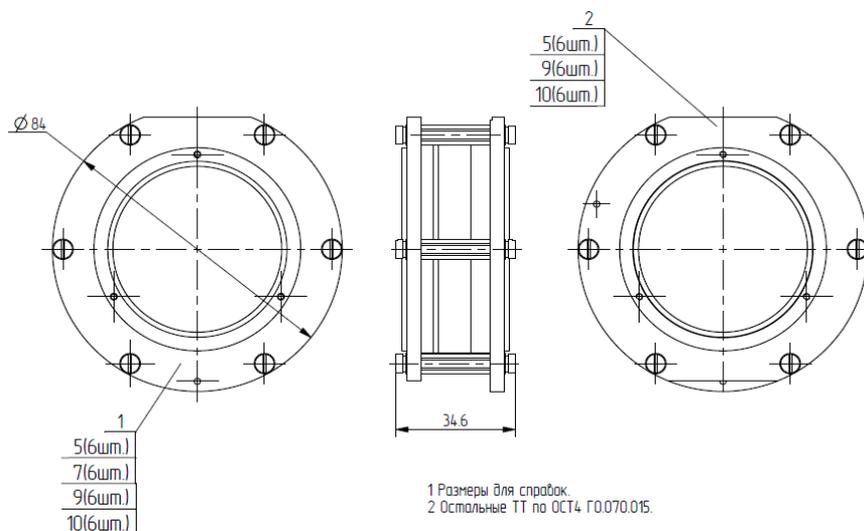
#### Вариант №1



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.011; 5 – Винт В.М2,5х5 ГОСТ 1491-80;  
7 – Стойка М2,5х10х15 ГОСТ 20862-81; 9 – Шайба С.2,5 ГОСТ 10450-78; 10 –  
Шайба С.2,5 ГОСТ 11371-78

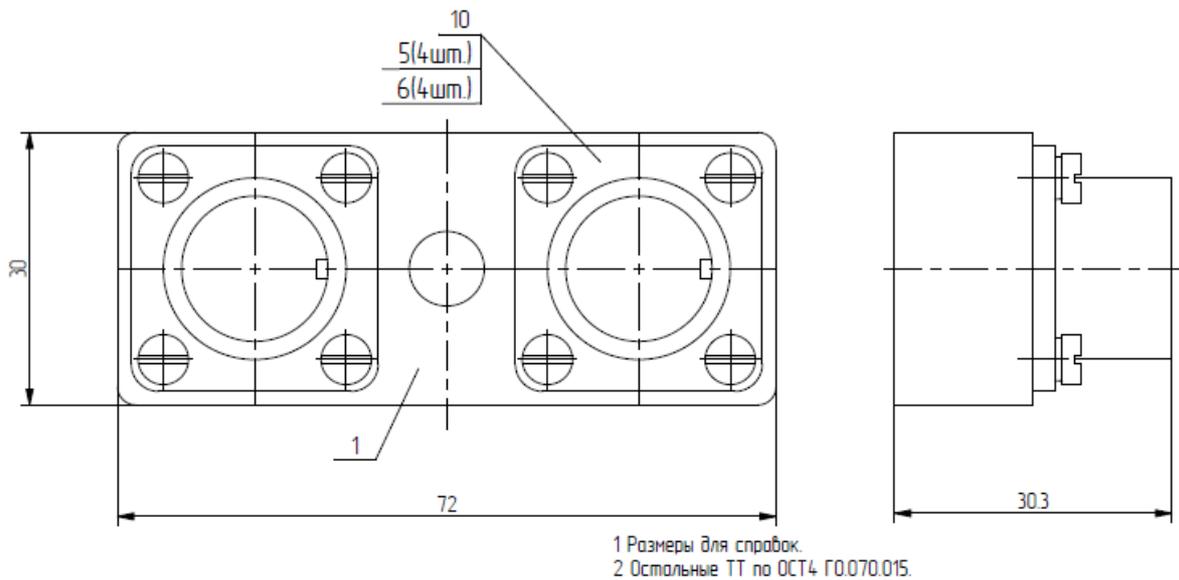
#### Вариант №2



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

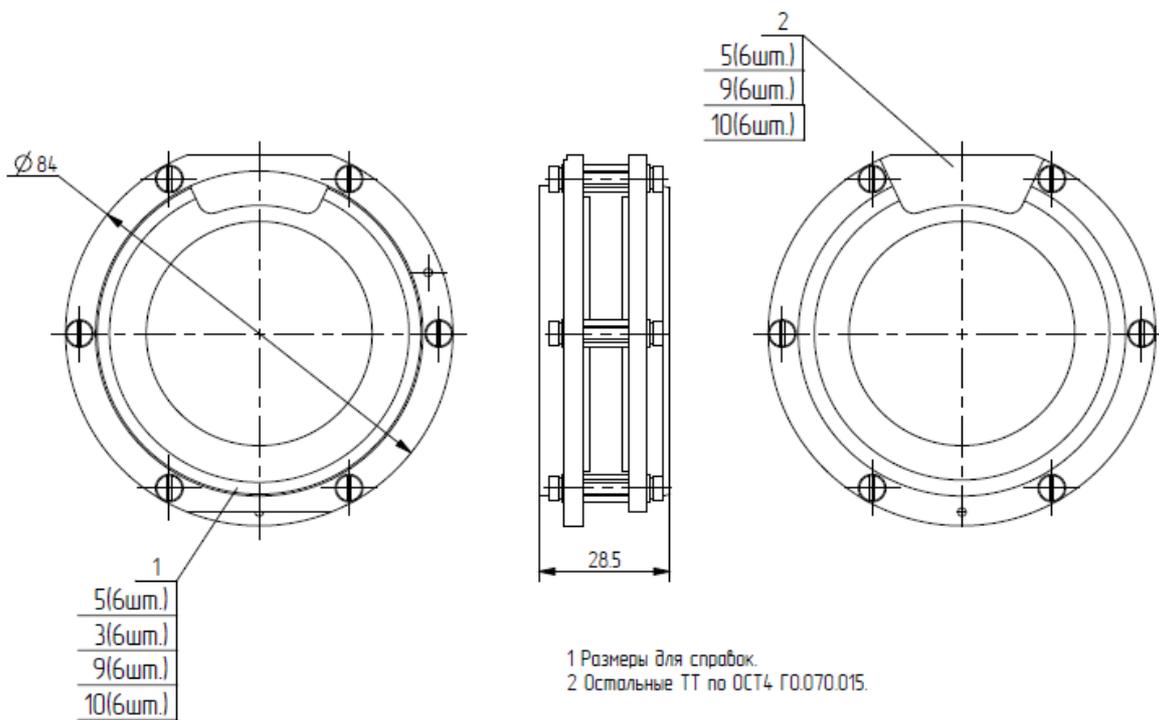
1 – ИТМО.ХХХХХ1.021; 2 – ИНС.005; 5 – Винт В.М3х10 ГОСТ 1491-80;  
7 – Стойка М3х20 ГОСТ 20865-81; 9 – Шайба 3 ГОСТ 6402-70;  
10 – Шайба С.3 ГОСТ 10450-78

### Вариант №3



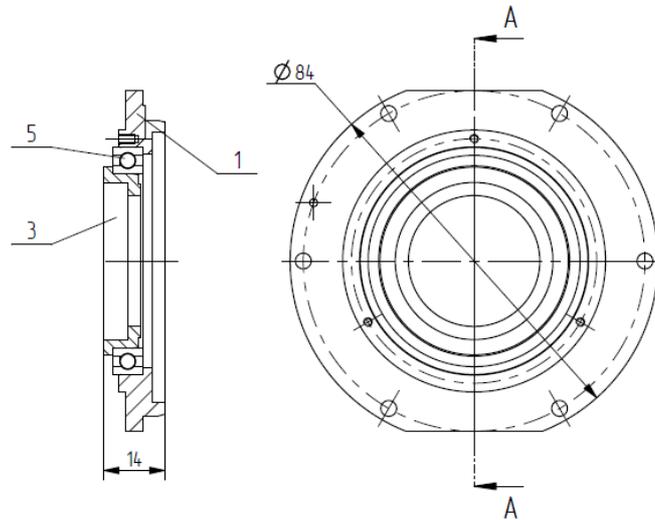
1 – ИТМО.ХХХХХ1.031; 5 – Винт В.М3х8 ГОСТ 1491-80; 6 – Шайба 3 ГОСТ 6402-70; 10 – Розетка 2РМДТ18Б4Г5В1-В ГЕО.364.126ТУ

### Вариант №4



1 – ИТМО.ХХХХХ1.021; 2 – ИТМО.ХХХХХ1.051;  
 5 – Винт В.М3х10 ГОСТ 1491-80; 7 – Стойка М3х10 ГОСТ 20865-81;  
 9 – Шайба 3 ГОСТ 6402-70; 10 – Шайба С.3 ГОСТ 10450-78

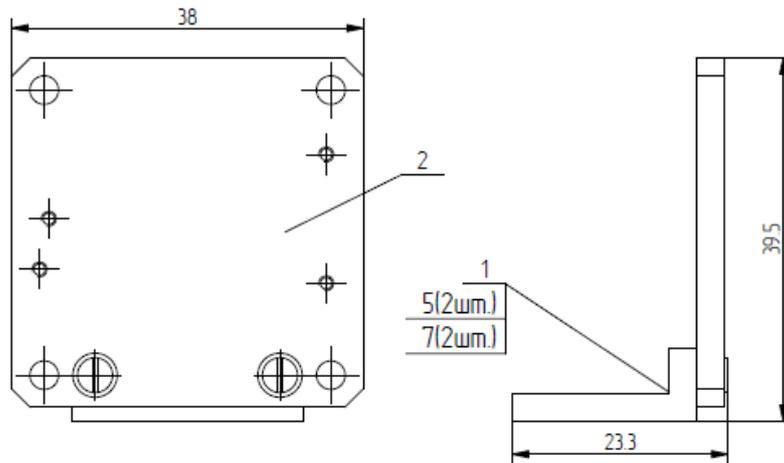
### Вариант №5



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.051; 3 – ИТМО.ХХХХХ1.071;  
5 – Подшипник 4-1000808 ГОСТ 520-2002

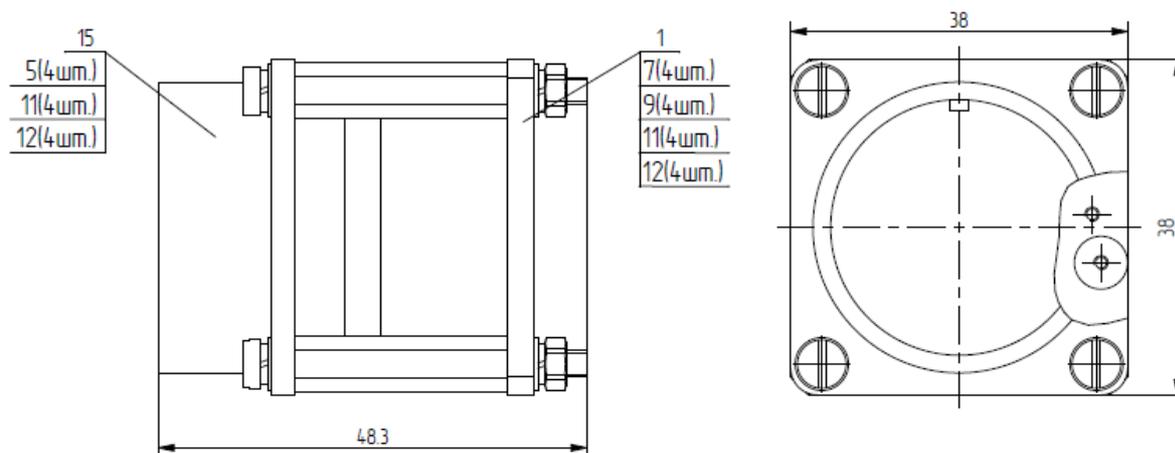
### Вариант №6



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.061; 2 – ИТМО.ХХХХХ1.111;  
5 – Винт В.М2х5 ГОСТ 1491-80; 7 – Шайба 2 ГОСТ 6402-70

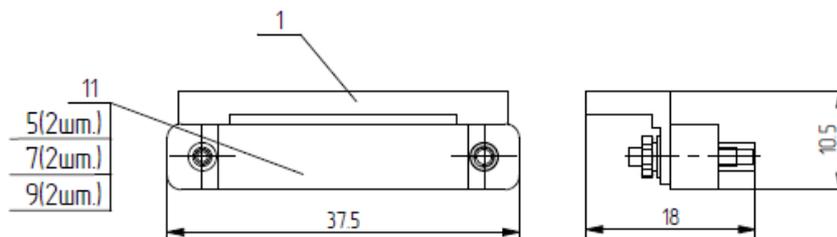
### Вариант №7



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

- 1 – ИТМО.ХХХХХ1.111; 5 – Винт В.М3х8 ГОСТ 1491-80;  
7 – Гайка М3 ГОСТ 5927-70; 9 – Стойка М3 х 24 х 33 ГОСТ 20862-81;  
11 – Шайба 3 ГОСТ 6402-70; 12 – Шайба С3 ГОСТ 10450-78

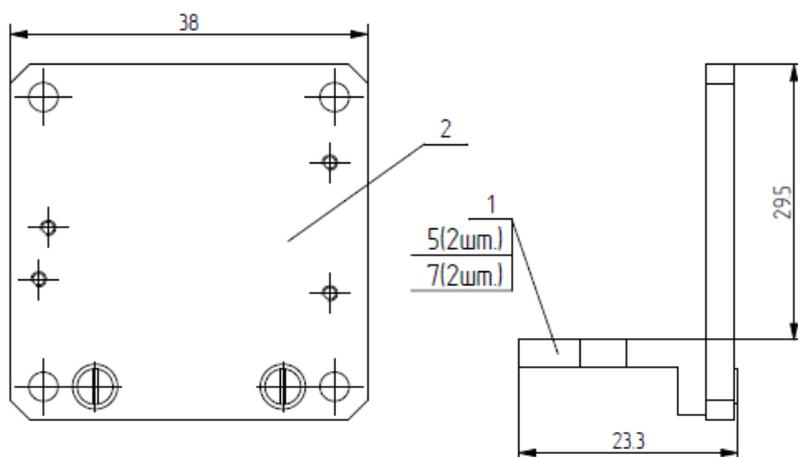
### Вариант №8



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

- 1 – ИТМО.ХХХХХ1.091; 5 – Гайка М2 ГОСТ 5916-70;  
7 – Шайба 2 ГОСТ 6402-70; 9 – Шайба С.2 ГОСТ 10450-78;  
11 – Вилка РПММ1-26ШЗ-В Ке0.364.000ТУ

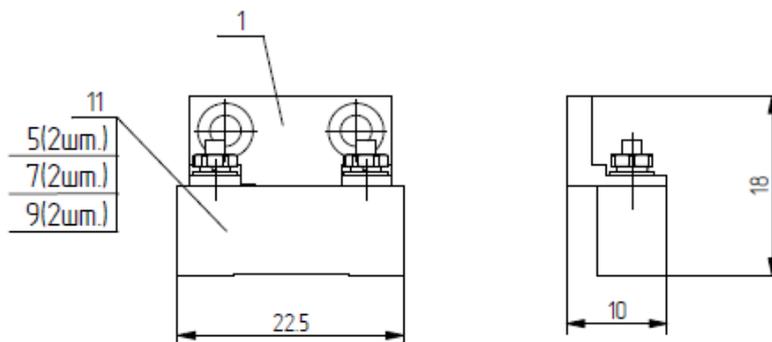
### Вариант №9



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.061; 2 – ИТМО.ХХХХХ1.111;  
5 – Винт В.М2х5 ГОСТ 1491-80; 7 – Шайба 2 ГОСТ 6402-70

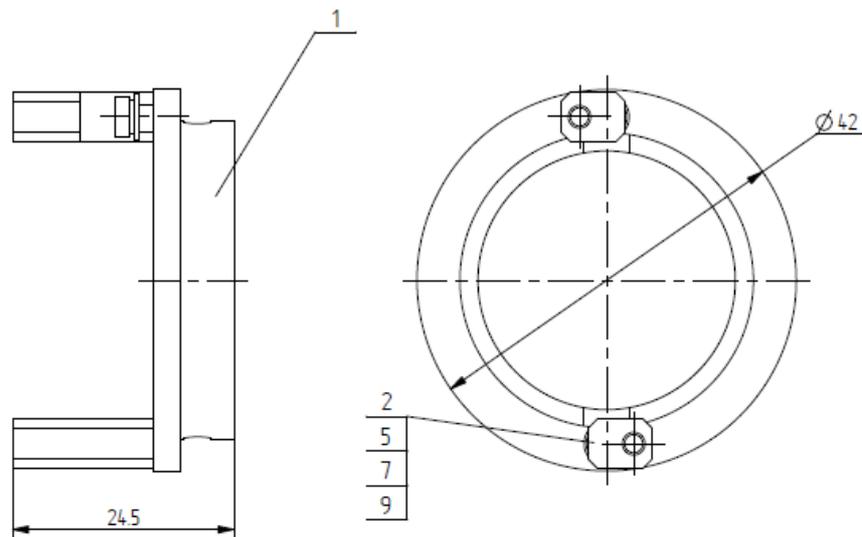
### Вариант №10



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.101; 5 – Гайка М2 ГОСТ 5916-70;  
7 – Шайба 2 ГОСТ 6402-70; 9 – Шайба С.2 ГОСТ 10450-78;  
11 – Розетка РПММ1-8Г3-В Ке0.364.000ТУ

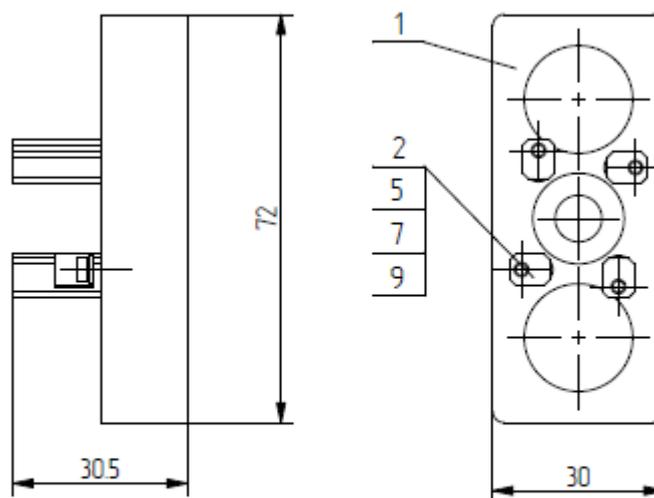
### Вариант №11



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.011; 2 – ИТМО.ХХХХХ1.121;  
5 – Винт В.М2,5х5 ГОСТ 1491-80; 7 – Шайба 2,5 ГОСТ 6402-70;  
9 – Шайба 2,5 ГОСТ 10450-78

### Вариант №12



1 Размеры для справок.  
2 Остальные ТТ по ОСТ4 ГО.070.015.

1 – ИТМО.ХХХХХ1.031; 2 – ИТМО.ХХХХХ1.121;  
5 – Винт В.М2,5х5 ГОСТ 1491-80; 7 – Шайба 2,5 ГОСТ 6402-70;  
9 – Шайба 2,5 ГОСТ 10450-78

### 6.3. Задание №3 – Разработка 3D моделей и чертежей гироскопического прибора

#### Задание.

- 1) Спроектировать инерциальный модуль, включающий:
  - чувствительные элементы, тип и размещение которых определяется вариантом задания;
  - кронштейн для крепления чувствительных элементов, учитывающий однозначную установку в корпусе прибора;
  - детали крепления чувствительных элементов;
  - одну или несколько соединительных плат (plata\_ps11.prt или plata\_ps12.prt) для электрического монтажа контактов чувствительных элементов в соответствии с вариантом задания.
- 2) Спроектировать гироскопический прибор, включающий:
  - инерциальный измерительный модуль;
  - корпусные детали;
  - детали однозначной установки модуля (штифты, сферические опоры, конические опоры);
  - розетки типа 2РМ для подключения прибора и планки с маркировкой «X1», «X2»... (d\_754342\_465\_gn\_x1\_x10.prt). Тип и количество разъемов должно обеспечивать подключение всех используемых контактов чувствительных элементов;
  - винт заземления и планку с соответствующей маркировкой (d\_754322\_426gn\_planka\_zazeml.prt);
  - планку маркировочную d\_754342\_630-04\_gp\_planka\_mark.prt;
  - планку маркировочную (прототип – d\_754322\_394\_planka.prt), включающую обозначение прибора, год обучения и массу прибора.
- 3) Разработать спецификацию и сборочный чертеж модуля и прибора.
- 4) Разработать чертежи кронштейна, корпусных деталей и деталей крепления (при наличии).
- 5) Указать допуски взаимного расположения и формы, шероховатости поверхностей кронштейна, предназначенных для установки чувствительных элементов. По умолчанию допуски взаимного расположения

(перпендикулярности и параллельности) принимаются равными 0,05 мм. Допуски формы (плоскостность) и шероховатости должны соответствовать значениям, указанным на чертежах чувствительных элементов.

6) Рассчитать массу гироскопического прибора и определить положение центра масс.

7) Указать положение центра масс на чертеже прибора.

Пример разработанных чертежей – см. раздел 7.2.

#### Вариант №1

Два поплавковых гироскопа (gyro3\_pg.prt, рисунок 6.1), расположенных горизонтально.

Оси кинетических моментов взаимно перпендикулярны. Одна из осей горизонтальна, другая – вертикальна.

#### Вариант №2

Три акселерометра (accelerometer\_ak10\_4.prt, рисунок 6.2).

Оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны.

#### Вариант №3

Один шаровый гироскоп (gyro2\_zhgo.prt, рисунок 6.3) и два акселерометра (accelerometer\_214.prt, рисунок 6.4).

Ось кинетического момента гироскопа вертикальна, оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны и горизонтальны.

#### Вариант №4

Три волоконно-оптических гироскопа (gyro5\_vg910.prt, рисунок 6.5).

Оси чувствительности гироскопов взаимно перпендикулярны.

#### Вариант №5

Два лазерных гироскопа (gyro7\_km11.prt, рисунок 6.6).

Оси чувствительности гироскопов взаимно перпендикулярны. Одна из осей горизонтальна, другая – вертикальна.

#### Вариант №6

Два акселерометра (accelerometer\_d10.prt, рисунок 6.7).

Оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны и горизонтальны.

#### Вариант №7

Один шаровый гироскоп (gyro2\_zhgo.prt, рисунок 6.3) и триада акселерометров (triada\_accel.prt, рисунок 6.8).

Ось кинетического момента гироскопа горизонтальна.

#### Вариант №8

Три магнитных гироскопа (gyro4\_msg.prt, рисунок 6.9).

Оси кинетических моментов гироскопов взаимно перпендикулярны.

#### Вариант №9

Два акселерометра (accelerometer\_214.prt, рисунок 6.4).

Оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны и горизонтальны.

#### Вариант №10

Два поплавковых гироскопа (gyro3\_pg.prt, рисунок 6.1), расположенных вертикально.

Оси кинетических моментов взаимно перпендикулярны.

#### Вариант №11

Два шаровых гироскопа (gyro2\_zhgo.prt, рисунок 6.3).

Оси кинетических моментов взаимно перпендикулярны и горизонтальны.

#### Вариант №12

Два лазерных гироскопа (gyro7\_km11.prt, рисунок 6.6).

Оси чувствительности гироскопов взаимно перпендикулярны и горизонтальны.

### Вариант №13

Два волоконно-оптических гироскопа (gyro5\_vg910.prt, рисунок 6.5).

Оси чувствительности гироскопов взаимно перпендикулярны и горизонтальны.

### Вариант №14

Три поплавковых гироскопа (gyro3\_pg.prt, рисунок 6.1).

Оси кинетических моментов гироскопов взаимно перпендикулярны.

### Вариант №15

Один волоконно-оптический гироскоп (gyro5\_vg910.prt, рисунок 6.5) и два акселерометра (accelerometer\_ak10\_4.prt, рисунок 6.2).

Оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны и горизонтальны, ось чувствительности гироскопа вертикальна.

### Вариант №16

Три акселерометра (accelerometer\_214.prt, рисунок 6.4).

Оси чувствительности акселерометров взаимно перпендикулярны.

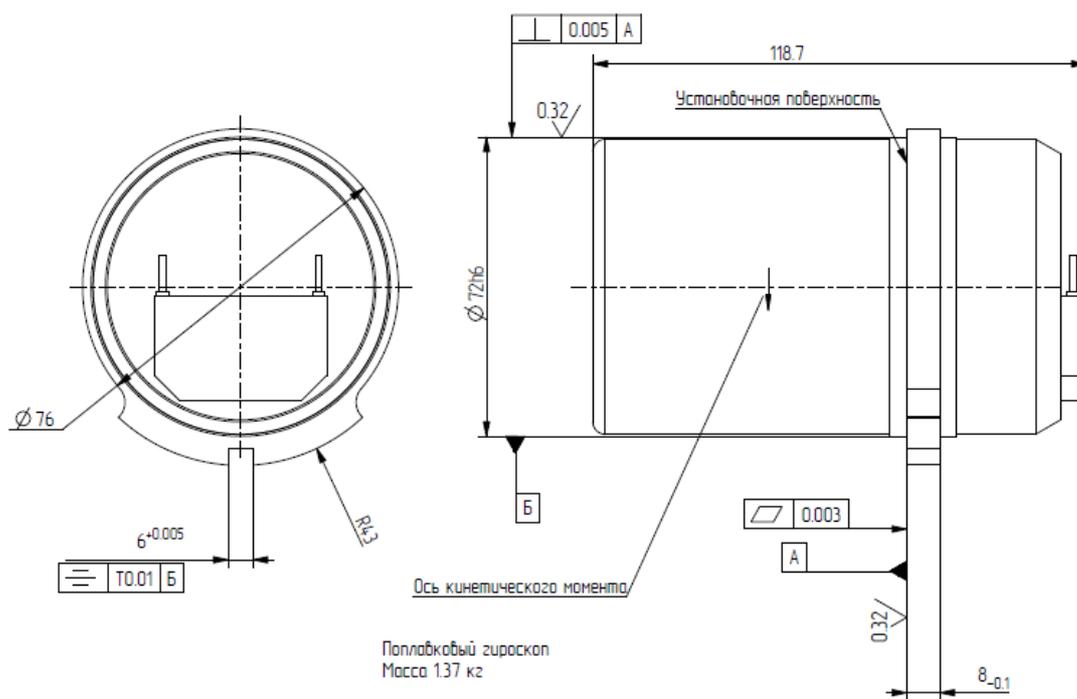


Рисунок 6.1 – Поплавковый гироскоп  
Питание 27 В, 6 сигнальных линий



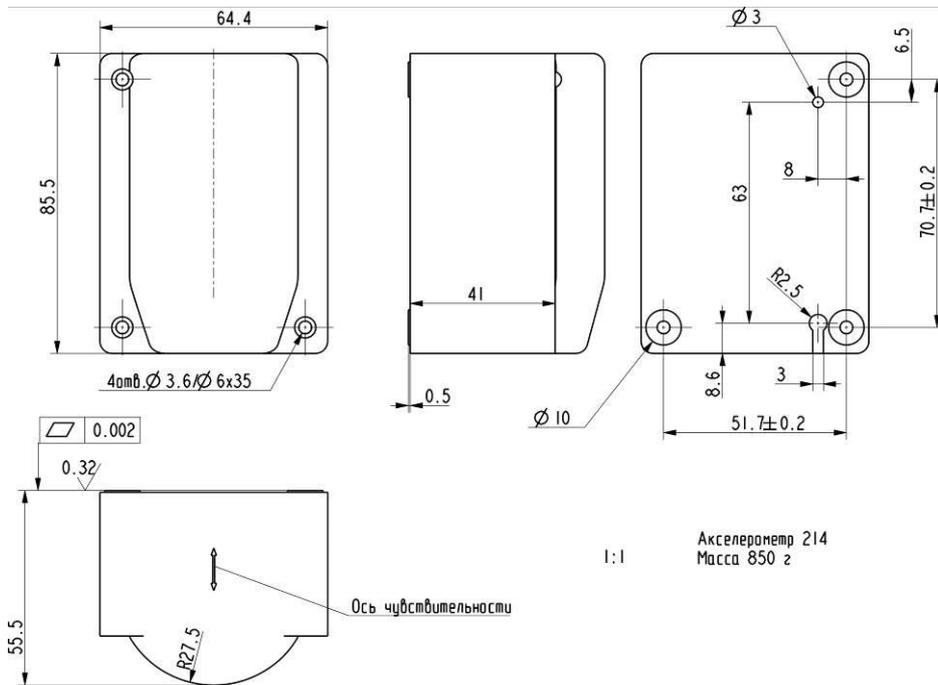
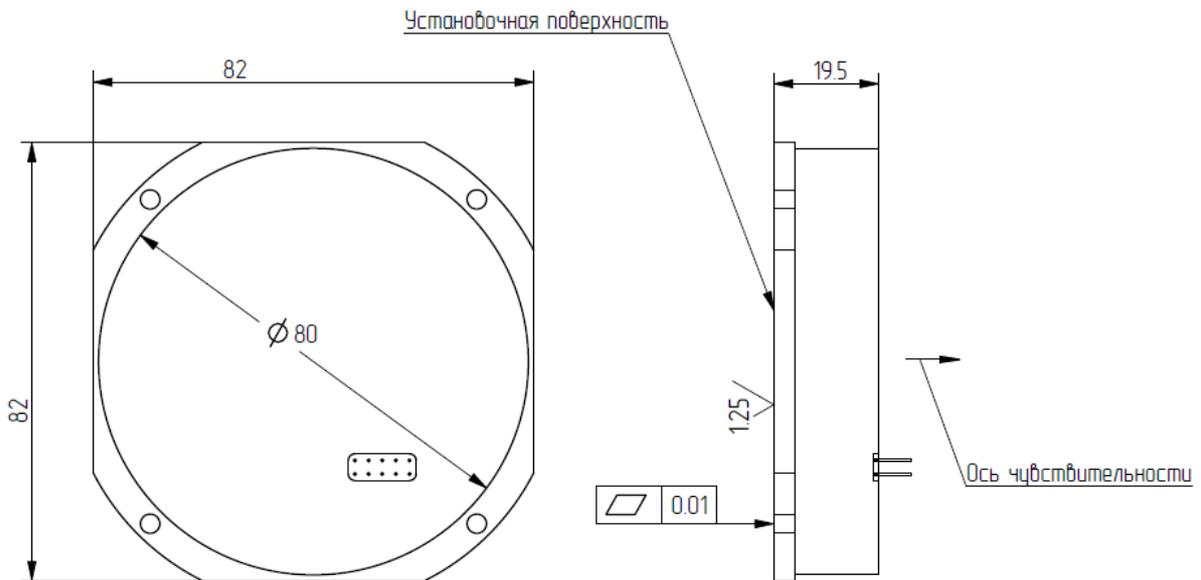


Рисунок 6.4 – Акселерометр 214  
Питание 15 В, 4 сигнальные линии



Волоконно-оптический гироскоп 910  
Масса 112 г

1:1

Рисунок 6.5 – Волоконно-оптический гироскоп 910  
Питание 12 В, 8 сигнальных линий

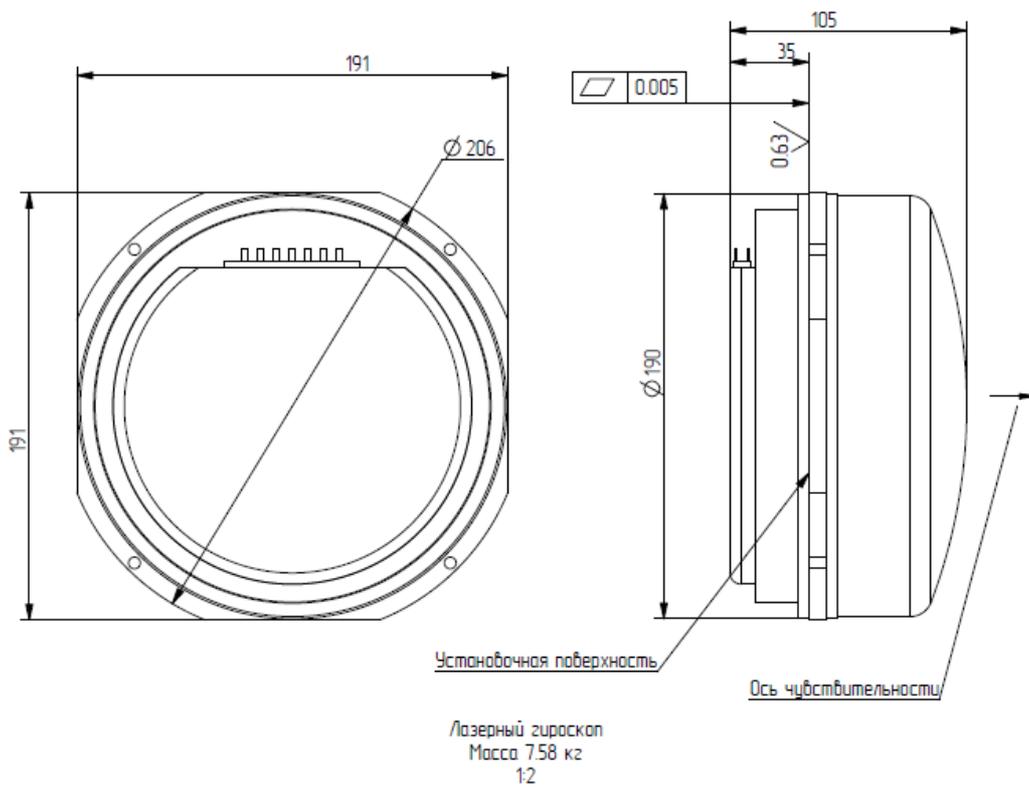


Рисунок 6.6 – Лазерный гироскоп  
 Питание 27 В, 8 сигнальных линий

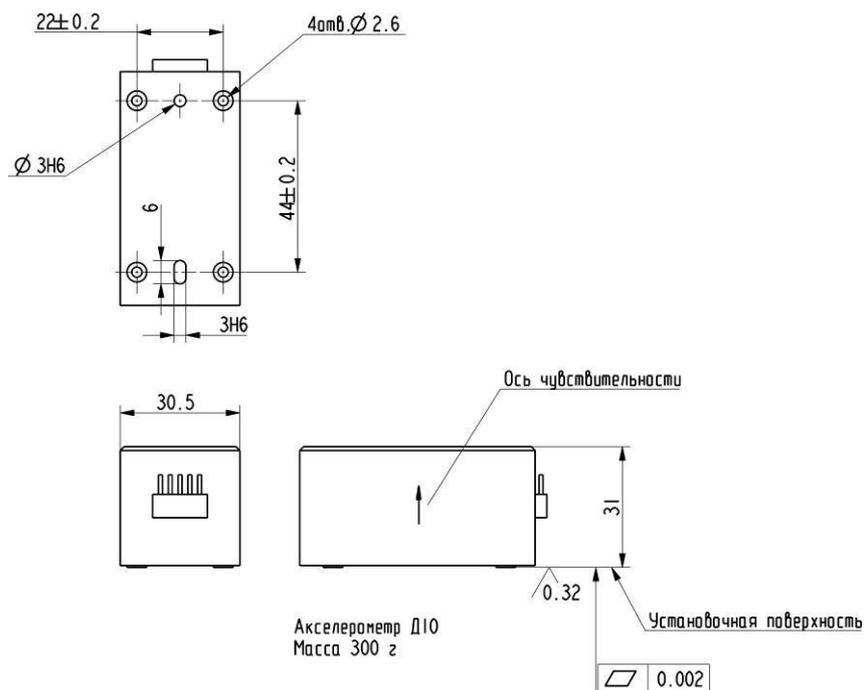
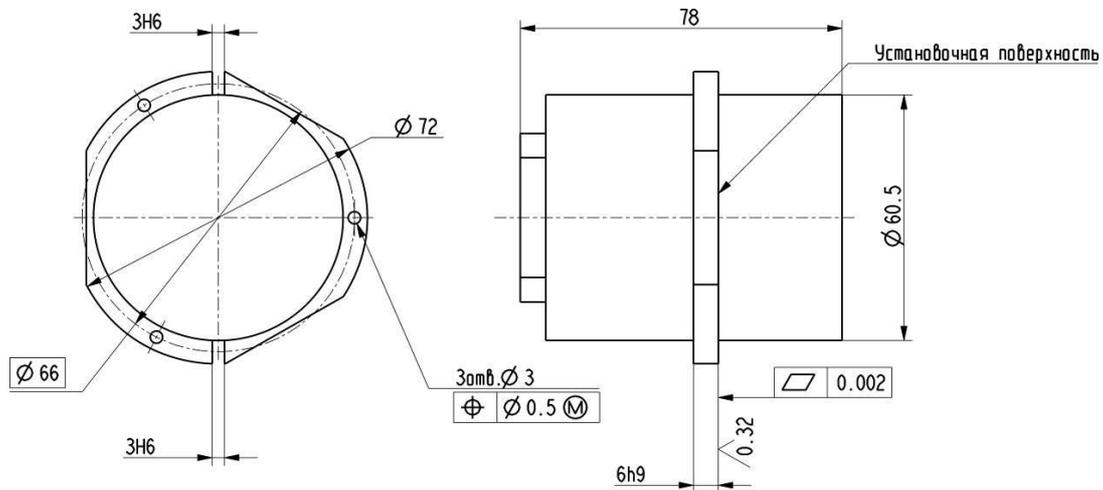
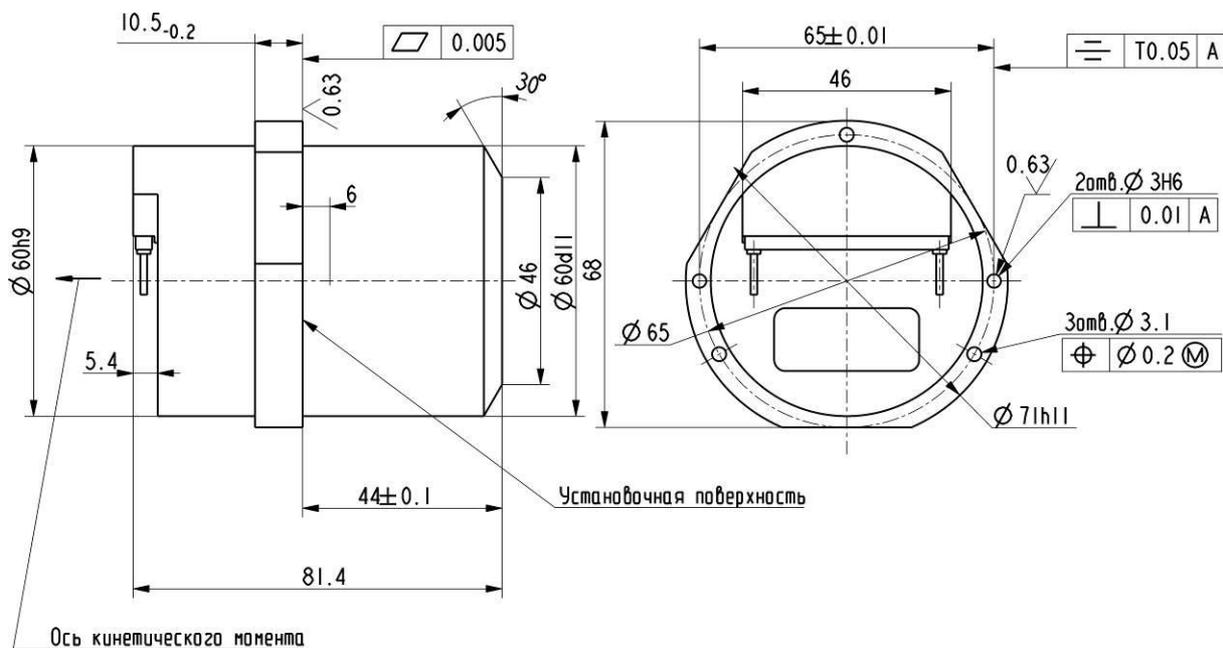


Рисунок 6.7 – Акселерометр Д10  
 Питание 15 В, 3 сигнальных линии



Триада акселерометров  
 Материал корпуса 80НХС ГОСТ 10160-75  
 Масса 650 г

1:1  
**Рисунок 6.8 – Триада акселерометров**  
 Питание 15 В, 9 сигнальных линий



Гирископ с магнитным подвесом

1:1  
 1. Материал установочной поверхности - сталь 20 ВД с покрытием Н12  
 2. Масса 0,75 кг.

**Рисунок 6.9 – Магнитный гирископ**  
 Питание 27 В, 8 сигнальных линий

## 7. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

7.1 На каждое выполненное задание оформляется отдельный отчет, который должен содержать:

- титульный лист с указанием наименования учебного заведения, года, города, фамилий студента и преподавателя;
- содержание;
- список использованных обозначений (при наличии);
- текст задания;
- пооперационный алгоритм построения 3D модели, с соответствующими рисунками и пояснениями;
- изображение построенной 3D модели;
- заключение по проделанной работе;
- приложения.

В приложениях к отчету должны быть приведены разработанные чертежи и спецификации.

Отчет о лабораторных исследованиях выполняется в электронном виде в соответствии с ГОСТ 2.105.

7.2 Пример инерциального измерительного модуля, спроектированного в рамках задания №3, показан на рисунке 7.1.

Модуль содержит два чувствительных элемента, закрепленных на кронштейне. Плоскости крепления чувствительных элементов перпендикулярны установочной плоскости кронштейна и перпендикулярны друг другу. Оси чувствительности параллельны установочной плоскости кронштейна.

Чувствительные элементы установлены по посадке в отверстие и закреплены накладками. На кронштейне установлены соединительные платы для соединения с контактами элемента. Кронштейн имеет три отверстия для крепления к основанию.

Чертеж кронштейна представлен на рисунке 7.2.

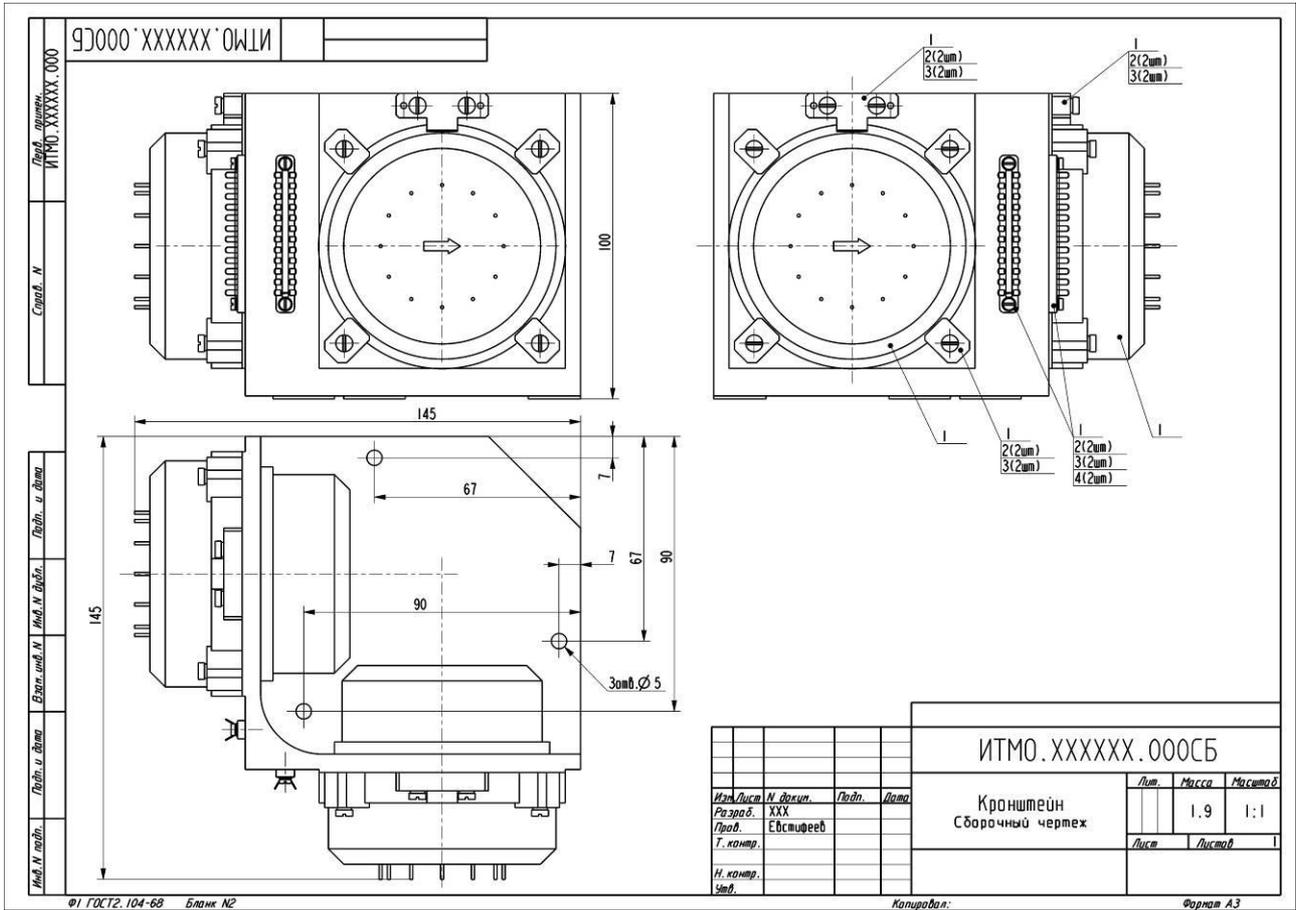


Рисунок 7.1 – Пример сборочного чертежа



## **8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**

При проведении лабораторной работы следует руководствоваться ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» и ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

Студенты допускаются к выполнению лабораторной работы только после проведения преподавателем инструктажа по вопросам безопасности и методики выполнения работы с обязательной отметкой в соответствующем журнале по технике безопасности.

## 9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Назовите основные задачи конструирования.
- 2) Дайте определение ЕСКД.
- 3) Из каких разделов состоит обозначение стандартов ЕСКД?
- 4) Назовите две основные стадии разработки КД и их этапы.
- 5) Назовите особенности выполнения технического предложения.
- 6) Назовите особенности выполнения эскизного проекта.
- 7) Назовите особенности выполнения технического проекта.
- 8) Назовите особенности стадии разработки КД.
- 9) Дайте определение изделию.
- 10) Назовите классификационные признаки изделий.
- 11) Назовите основные виды КД.
- 12) Дайте определение основному и полному комплектам КД.
- 13) Чем определяется и из чего состоит обозначение КД?
- 14) Дайте определение САПР и ее перевод на английский язык.
- 15) Назовите назначения САД, САЕ и САМ-систем.
- 16) Назовите количество этапов развития САХ-систем и их основные отличия.
- 17) Назовите направления развития САД, САЕ и САМ-систем.
- 18) Назовите отличия этапов развития САХ-систем и САПР.
- 19) Дайте определение Индустрии 4.0.
- 20) Дайте определение цифровому двойнику.
- 21) Назовите отличия цифрового двойника от цифровой тени.
- 22) Назовите преимущества использования цифровых двойников.
- 23) Назовите отличия нисходящего и восходящего проектирований.
- 24) Назовите типы существующих окон в Creo.
- 25) Назовите основные правила подготовки рабочего окружения в Creo.
- 26) Назовите основные правила наименования файлов в Creo.
- 27) Назовите основные правила разработки моделей деталей в Creo.
- 28) Назовите основные правила разработки моделей сборочных единиц в Creo.

- 29) В чем заключается принцип удаления материала при разработке моделей в Creo?
- 30) Назовите основные правила разработки чертежей в Creo.
- 31) Назовите рекомендуемое направление базовых плоскостей при создании первого элемента модели в Creo.
- 32) Назовите неправильные способы создания отверстий, фасок, скруглений в Creo.
- 33) Назовите типы используемых массивов в Creo.
- 34) Приведите пример неправильного создания группы одинаковых отверстий в Creo.
- 35) Назовите способы создания резьбовых отверстий в Creo.
- 36) Назовите способы определения массы модели детали в Creo.
- 37) Назовите способы сборки стандартных элементов в Creo.
- 38) Назовите способы заполнения основной надписи чертежа в Creo.
- 39) Назовите типы сечений, используемых при создании чертежа в Creo.
- 40) Назовите способы указания наименований сечений при создании чертежа в Creo.
- 41) Назовите способы указания осевых линий при создании чертежа в Creo.
- 42) Назовите способы указания размеров при создании чертежа в Creo.
- 43) Назовите способы указания допусков размеров, формы и расположения при создании чертежа в Creo.
- 44) Назовите способы указания позиционных обозначений при создании чертежа в Creo.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Creo Elements/Pro 5.0 Primer. Учебное пособие, PTC Academic Program, 2011. Режим доступа: [https://www.solver.ru/products/kamp/files/olimpiada/Primer\\_rus.pdf](https://www.solver.ru/products/kamp/files/olimpiada/Primer_rus.pdf) (дата обращения: 30.08.2021).
- 2 Creo Elements/Pro 5.0 Primer Advanced. Учебное пособие, PTC Education Program, 2010. Режим доступа: [https://www.solver.ru/products/kamp/files/olimpiada/Primer\\_Advanced\\_rus.pdf](https://www.solver.ru/products/kamp/files/olimpiada/Primer_Advanced_rus.pdf) (дата обращения: 30.08.2021).
- 3 Интерактивная справка Creo Parametric 5.0.6.0 Режим доступа: [https://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/russian/index.html](https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/russian/index.html) (дата обращения: 30.08.2021).
- 4 Основы автоматизированного проектирования : Учебник для вузов / И. П. Норенков. – Москва : Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2000. – 360 с. – (Информатика в техническом университете). – ISBN 5703815126.
- 5 САПР-журнал. Уроки Creo ProEngineer. Режим доступа: <http://sapr-journal.ru/category/uroki-creo-proengineer/> (дата обращения: 30.08.2021).
- 6 Цифровое производство : Методы, экосистемы, технологии / А. И. Боровков, Л. В. Лысенко, П. Н. Биленко [и др.]. – Москва : Автономная некоммерческая образовательная организация высшего профессионального образования «Сколковский институт науки и технологий», 2017. – 80 с.
- 7 Di Marco G. A Reasoned Approach to the Integration of Design and Fabrication Technologies in Architecture Education //KnE Social Sciences. – 2019. – С. 510–521–510–521.
- 8 Андреев В. Б., Астраханцев Г. П., Дымников В. П., Руховец Л. А., Четверушкин Б. Н. Памяти Леонарда Амаяковича Оганесяна (1925–2013) //Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2014. – Т. 54. – №. 5. – С. 892-896.
- 9 Гаршин О., Московченко А. Преимущества нисходящего проектирования на примере использования Pro/ENGINEER WILDFIRE //САПР и графика. – 2004. – №. 11. – С. 4.
- 10 Козырев, А. Ю., Клочков А. Я. История развития систем проектирования // Технические науки: традиции и инновации : материалы I Междунар. науч. конф.

(г. Челябинск, январь 2012 г.). — Челябинск : Два комсомольца, 2012. — С. 64-66. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/6/1575/> (дата обращения: 09.06.2021).

11 Комарова Л. А., Филатов А. Н. Применение технологии нисходящего проектирования, основанной на решениях Windchill PDMLink и САПР Pro/ENGINEER, для разработки изделий ракетно-космической техники // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1-2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologii-nishodyaschego-proektirovaniya-osnovannou-na-resheniyah-windchill-pdmlink-i-sapr-pro-engineer-dlya-razrabotki> (дата обращения: 30.08.2021).

## **СТАНДАРТЫ ЕСКД**

### **Общие положения**

- ГОСТ 2.051-2013 Электронные документы
- ГОСТ 2.052-2015 Электронная модель изделия
- ГОСТ 2.053-2013 Электронная структура изделия
- ГОСТ 2.054-2013 Электронное описание изделия
- ГОСТ 2.055-2014 Электронная спецификация
- ГОСТ 2.056-2014 Электронная модель детали
- ГОСТ 2.057-2014 Электронная модель сборочной единицы

### **Основные положения**

- ГОСТ 2.101-2016 Виды изделий
- ГОСТ 2.102-2013 Виды и комплектность конструкторских документов
- ГОСТ 2.103-2013 Стадии разработки
- ГОСТ 2.104-2006 Основные надписи
- ГОСТ 2.105-95 Основные требования к текстовым документам
- ГОСТ 2.106-96 Текстовые документы
- ГОСТ 2.109-73 Основные требования к чертежам
- ГОСТ 2.118-2013 Техническое предложение
- ГОСТ 2.119-2013 Эскизный проект
- ГОСТ 2.120-2013 Технический проект

### **Классификация и обозначение изделий и конструкторских документов**

- ГОСТ 2.201-80 Обозначение изделий и конструкторских документов

### **Общие правила выполнения чертежей**

- ГОСТ 2.301-68 Форматы
- ГОСТ 2.302-68 Масштабы
- ГОСТ 2.303-68 Линии
- ГОСТ 2.304-81 Шрифты чертежные
- ГОСТ 2.305-2008 Изображения – виды, разрезы, сечения

ГОСТ 2.306-68 Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах

ГОСТ 2.307-2011 Нанесение размеров и предельных отклонений

ГОСТ 2.308-2011 Указание допусков формы и расположения поверхностей

ГОСТ 2.309-73 Обозначения шероховатости поверхностей

ГОСТ 2.310-68 Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки

ГОСТ 2.311-68 Изображения резьбы

Евстифеев Михаил Илларионович  
Елисеев Даниил Павлович

**Проектирование 3D моделей элементов  
инерциальных модулей**

**Учебное пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А