

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"»

Институт ядерной физики и технологий

687 Лаборатория «Функциональная диагностика и
неразрушающий контроль»

Работа по проектированию и конструированию приборов на тему:
«Двигатель Стирлинга с Жидкостным Охлаждением»

Выполнил:

Студент группы Б23-101

Горностаев Андрей

Сергеевич

Консультанты:

Иваний М.Б.

Сурин В.И.

Островский В.Р.

Москва 2025

687.13.05.00.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горностаев А. С.		
Проверил		Иваний М. Б.		
Н.контр.				
Утв.				

*Двигатель Стирлинга с
Жидкостным Охлаждением
(ДС-ЖО)*

Пояснительная записка

Лит.	Лист	Листов
У	1	16
НИЯУ МИФИ Б23-101		

Содержание:

1. Техническое задание.....	3
2. Техническое описание устройства.....	7
3. Расчётная часть.....	9
4. Технологические рекомендации.....	12
5. Список источников и литературы.....	13
6. Заключение.....	14

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Поршень длинный: Располагается во внутреннем сопряженном с внешним цилиндре цилиндра. Соединяется с шатуном с помощью фиксированного поршневого пальца. Диаметр поршня – 10 мм, длина поршня – 16 мм.

Шатун: Соединяет поршень с коромыслом. Габаритные размеры – 27×10×3 мм

Коромысло: Соединяет шатун с эксцентриком. Имеет крепление для направляющей тяги. Габаритные размеры – 35×25×4 мм

Направляющая тяга: Выполняет стабилизирующую функцию коромысла. Габаритные размеры – 27×10×3

Маховичная стойка:

Состоит из стойки, держателя, опоры, стержня, маховика и эксцентрика. Все детали выполнены из алюминия, за исключением маховика и стержня. Все подвижные детали соединяются через подшипники.

Стойка: Выполняет несущую функцию. габаритные размеры – 66×44×5 мм

Стержень: Передает крутящий момент от эксцентрика маховику. диаметр – 3 мм, длина – 25 мм. Материал – сталь

Эксцентрик: Преобразует возвратно-поступательное движение во вращательное. Диаметр – 6 мм, толщина – 3 мм.

Маховик: Выполняет стабилизирующую функцию, сглаживает неравномерности вращательного движения, облегчает запуск двигателя, а имеет возможность передавать вращательный момент. Материал – латунь. Диаметр – 36 мм, толщина – 5 мм.

Опора: Соединяет направляющую тягу со стойкой и ограничивает движение направляющей тяги в одной плоскости. габаритные размеры – 17×15×16 мм.

Держатель: Выполняет поддерживающую функцию для стержня. Габаритные размеры – 25×12×4 мм.

Платформа: Выполняет несущую и фиксирующую функцию. Должна иметь резьбовые отверстия для крепления всей конструкции. Габариты должны не превышать 150×50×10 мм.

д) Материалы:

- 1) Поршневые цилиндры, поршни, кожух, основная и малая пластины– бронза литейная (Бр05С25 ГОСТ 613–79).
- 2) Шатуны, коромысло, направляющая тяга, стойка, опора, держатель, эксцентрик, стержень, маховик, платформа– алюминиевый литейный сплав (АК5М ГОСТ 1583–93).

Инв.№ подл.	Подп. и дата
Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	687.13.05.00.00	Лист
						5

в) Функциональные требования:

Рабочая температура: от 450 °С до 660 °С для блока цилиндров, от 20°С до 200°С для коромысловой системы и маховичной стойки.

Минимальный КПД: от 30%.

Минимальная мощность: от 20 Вт.

1.6. Этапы разработки:

- а) Расширение технического задания
(анализ аналогов разработки, анализ технической литературы)
- б) Подбор информационных материалов.
- с) Разработка и утверждение технического проекта и пояснительной записки.
- д) Проектирование устройства в среде T-Flex.
- е) Защита.

1.7. Порядок контроля и приемки:

- а) Конструкторская и технологическая документация должны соответствовать существующим нормативным требованиям (требованиям ЕСКД, в частности ГОСТ 2.117, 2.118, 2.119 и др.)
- б) Изготавливаемые детали и сборки должны соответствовать конструкторской документации.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Техническое описание устройства

Данное устройство предназначено для преобразования тепловой энергии в механическую работу посредством внешнего сгорания, работающая за счёт циклического нагрева и охлаждения рабочего газа (в данном случае воздуха). Энергия передаётся через замкнутый термодинамический цикл, включающий четыре фазы: нагрев, расширение, охлаждение и сжатие.

Ключевые особенности:

- 1) Небольшая мощность, позволяющая использовать маломощные источники тепловой энергии.
- 3) Возможность использовать теплоту от таких источников энергии, как открытое пламя и фокусированный солнечный свет.

Принцип работы:

Двигатель Стирлинга преобразует тепловую энергию в механическую работу за счёт циклического нагрева и охлаждения рабочего тела (в данном случае воздуха). Работа происходит по циклу Стирлинга в 4 фазы:

I-II) Нагрев (изотермическое расширение):

Газ в горячей зоне расширяется, толкая рабочий поршень. Совершается полезная работа.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

II-III) Перемещение (изохорное охлаждение):

Вытеснительный поршень перемещает газ в холодную зону через регенератор.

III-IV) Охлаждение (изотермическое сжатие):

Газ в холодной зоне сжимается, уменьшая объём (поршень возвращается).

IV-I) Перемещение (изохорный нагрев):

Вытеснитель возвращает газ в горячую зону, проходя через регенератор. Газ забирает сохранённое тепло, цикл повторяется.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

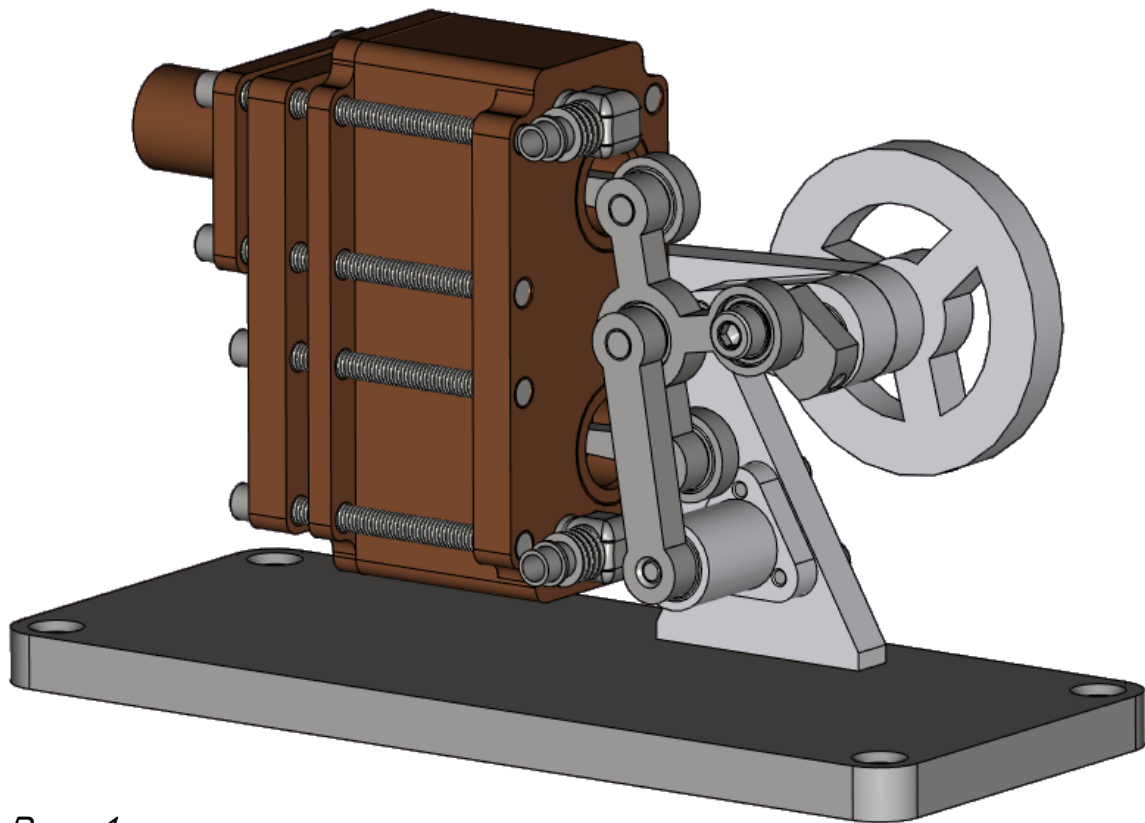


Рис. 1

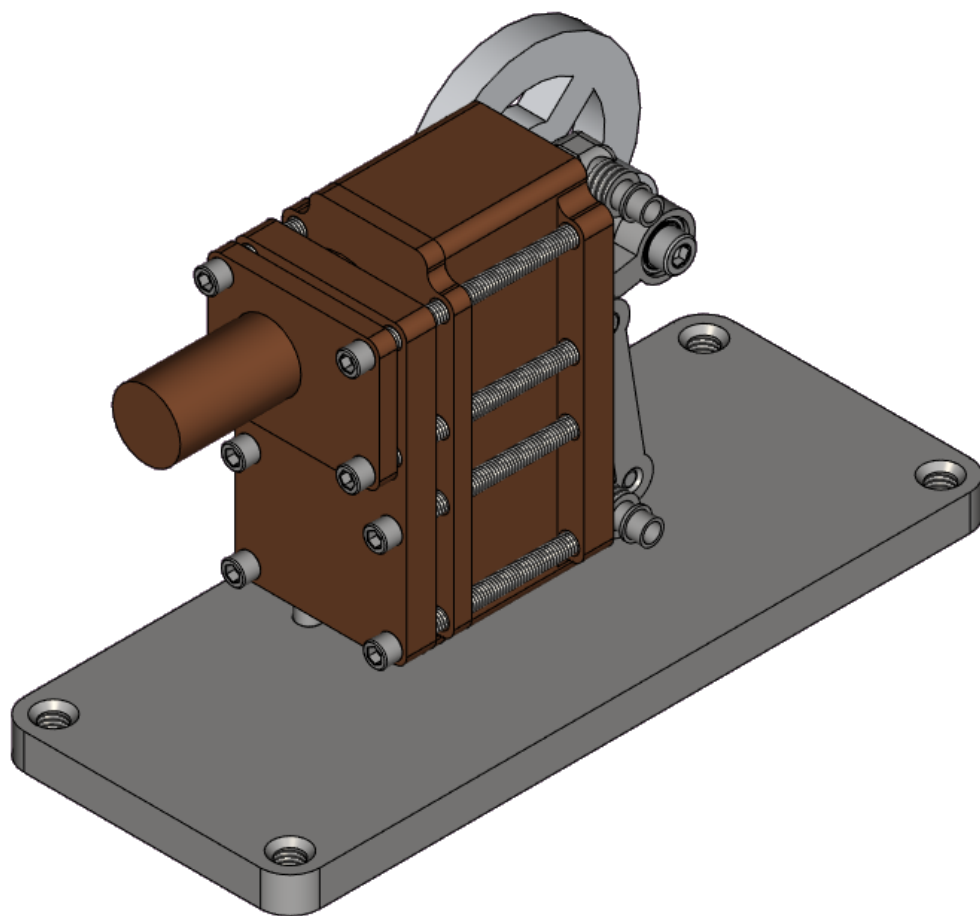


Рис. 2

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

687.13.05.00.00

Лист
10

Радиальная сила: $F = r \times A = r \times \pi \times r^2 = 1 \times 10^5 \times \pi \times (0.005)^2 = 8 \text{ Н.}$

Коэффициент безопасности $K_\delta = 1,5$. Температурный

коэффициент $K_T = 1.05$. Коэффициент вращения $K_\theta = 1.2$.

То есть эквивалентная нагрузка

$P_r = K_\theta \times K_\delta \times K_T \times F = 1.2 \times 1.5 \times 1.05 \times 8 = 15 \text{ Н.}$ Т.к. наша установка будет

работать не на постоянной основе, то $L_h \geq 8000 \text{ ч.}$ Поэтому

возьмем $L_h = 10000 \text{ ч.}$

Требуемая долговечность в млн. оборотов:

$$L_0 = \frac{60 \times \pi \times L_h}{10^6} = \frac{60 \times 236 \times 10000}{10^6} = 141 \text{ млн. оборотов.}$$

Необходимая динамическая грузоподъемность:

$$C = P \times (L_0)^{\frac{1}{3}} = 15 \times (141)^{\frac{1}{3}} = 78 \text{ Н.}$$

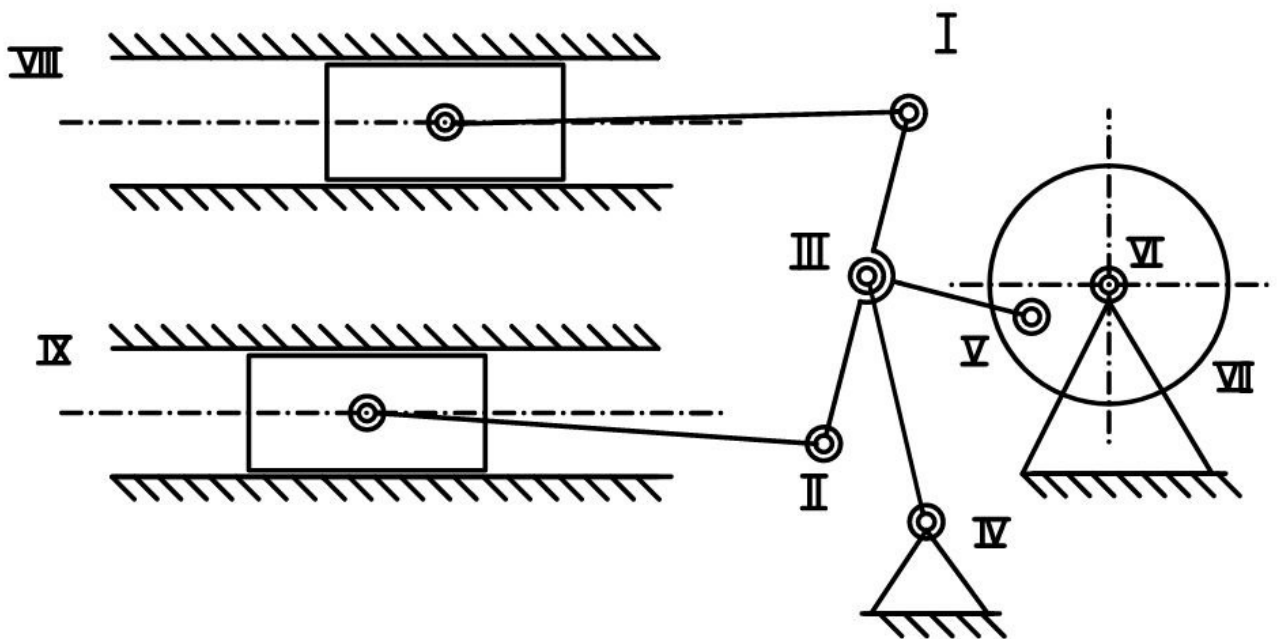
Нам подходит: Подшипник 1000093 ГОСТ 8338-75.

(Динамическая грузоподъемность $C = 560 \text{ Н.}$

Статическая грузоподъемность $C_0 = 186 \text{ Н.}$)

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата			687.13.05.00.00	Лист
Взам.Инв.№							11
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

3.4. Кинематическая схема и расчет степеней свободы:



Формула Чебышёва (Малышева):

$W = 3n - 2p_5 - p_4$, где $n = 7$ – количество подвижных звеньев,

$p_5 = 10$ – число кинематических пар 5-го класса, $p_4 = 0$ – число кинематических пар 4-го класса.

Тогда число степеней свободы $W = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1 \Rightarrow$ механизм работоспособен и управляем. Значит данная конструкция двигателя возможна.

Инв.№ подл.	Подп. и дата
Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.
Подп. и дата	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
------	------	----------	-------	------

687.13.05.00.00

Лист

12

Технологические рекомендации

Устройство состоит из деталей, которые технологически выполнимы. Их можно разработать на станках.

1. Материалы, из которых изготавливаются детали, указаны на чертежах.
2. Крепёжные элементы подобраны по соответствующим ГОСТам либо же могут быть куплены в розничной продаже.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата					Лист
									13
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	687.13.05.00.00				
Копировал					Формат А4				

Заключение

Разработано устройство двигателя Стирлинга с жидкостным охлаждением.

Созданное устройство удовлетворяет всем техническим требованиям: КПД составляет 33,5%, а мощность равна 39 Вт.

Расчёты подтвердили надёжность конструкции: подшипники, используемые в установке, выдержат как минимум 8000 часов эксплуатации.

Технологические рекомендации обеспечивают выполнимость изготовления деталей с использованием стандартного оборудования. Документация выполнена в соответствии с требованиями ЕСКД, включая ГОСТ 2.114, ГОСТ Р 52002-2003 и другие нормативные акты.

В ходе работы были реализованы следующие этапы:

1. Ознакомление с заданием.
2. Ознакомление со специальной литературой и ресурсами в сети Интернет. Анализ существующих потребностей на производствах промышленного типа. Анализ изготовленного прототипа.
3. Составление технического задания.
4. Создание эскиза устройства.
5. Проведение необходимых расчётов.
6. Создание 3D модели, чертежа общего вида, сборочного чертежа и чертежей деталей в программе «Т-Flex CAD 17».
7. Составление документации.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

В рамках расчётной части выполнены:

- 1) Расчет КПД.
- 2) Термодинамический расчет.
- 3) Расчет подшипника (по ГОСТ 18793–80).
- 4) Расчет степеней свободы.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дцкл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Список источников и литературы

1. Анурьев В. И. Под ред. И. Н. Жестковой – Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т / 920 с.: ил.
2. Г. Р. Муслина, Ю. М. Правиков ; под общ. ред. Л. В. Худобина – Выбор посадок для гладких соединений машин и приборов методами аналогов и подобия: учебное пособие / Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 72 с.
3. М.Н. Иванов, В.А. Финозенов – Детали машин: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / 12-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2008. – 408 с.: ил.
4. . В. Курмаз, А. Т. Скойбеда – Детали машин. Проектирование: Справочное учебнометодическое пособие / 2-е изд., испр.: М.: Высш. шк., 2005. – 309 с.: ил.
5. Расчёт и выбор подшипников качения. Справочник. М., "Машиностроение". 1974. Р 24 / Н.А. Спицын, Б.А. Яхин, В.Н. Перезудов, И.М. Задулонов.

Инв.№ подл.	Подп. и дата	Взам.инв.№	Инв.№ дубл.	Подп. и дата	687.13.05.00.00	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

687.13.05.00.000 В0

Перв. примен.

Справ. №

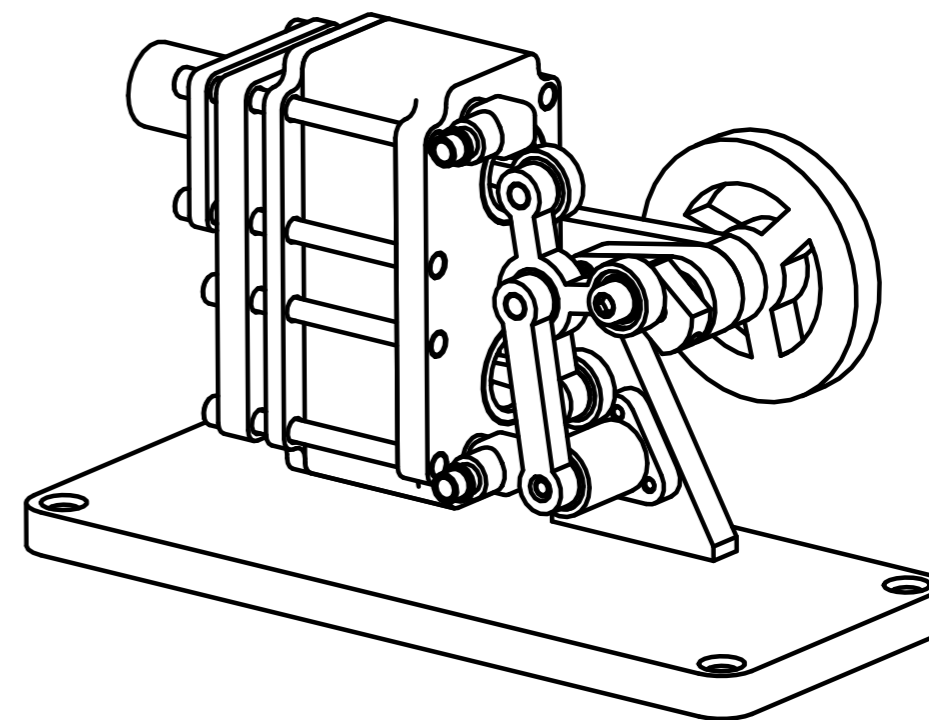
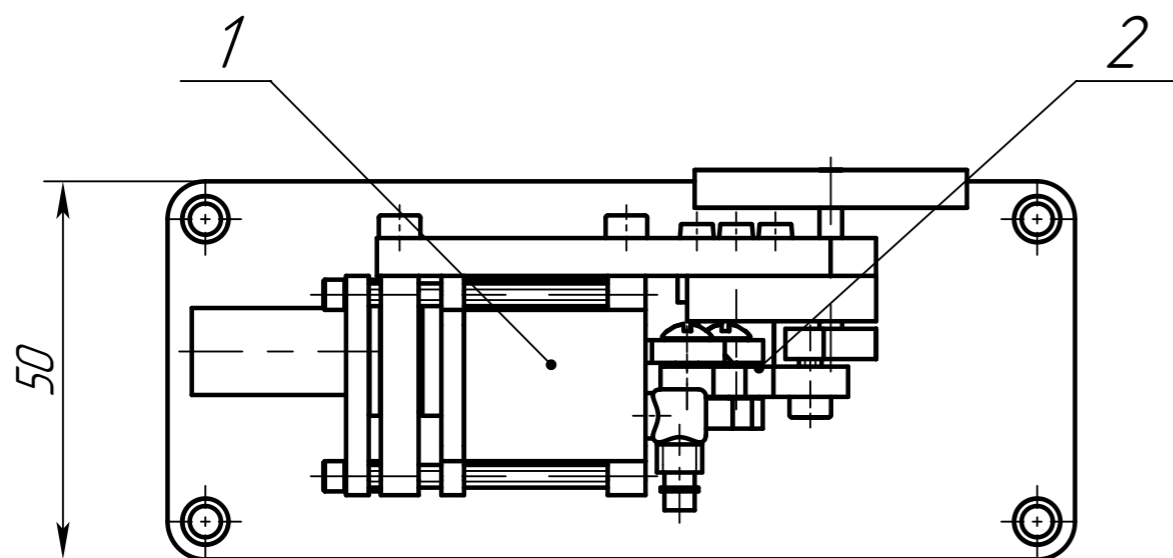
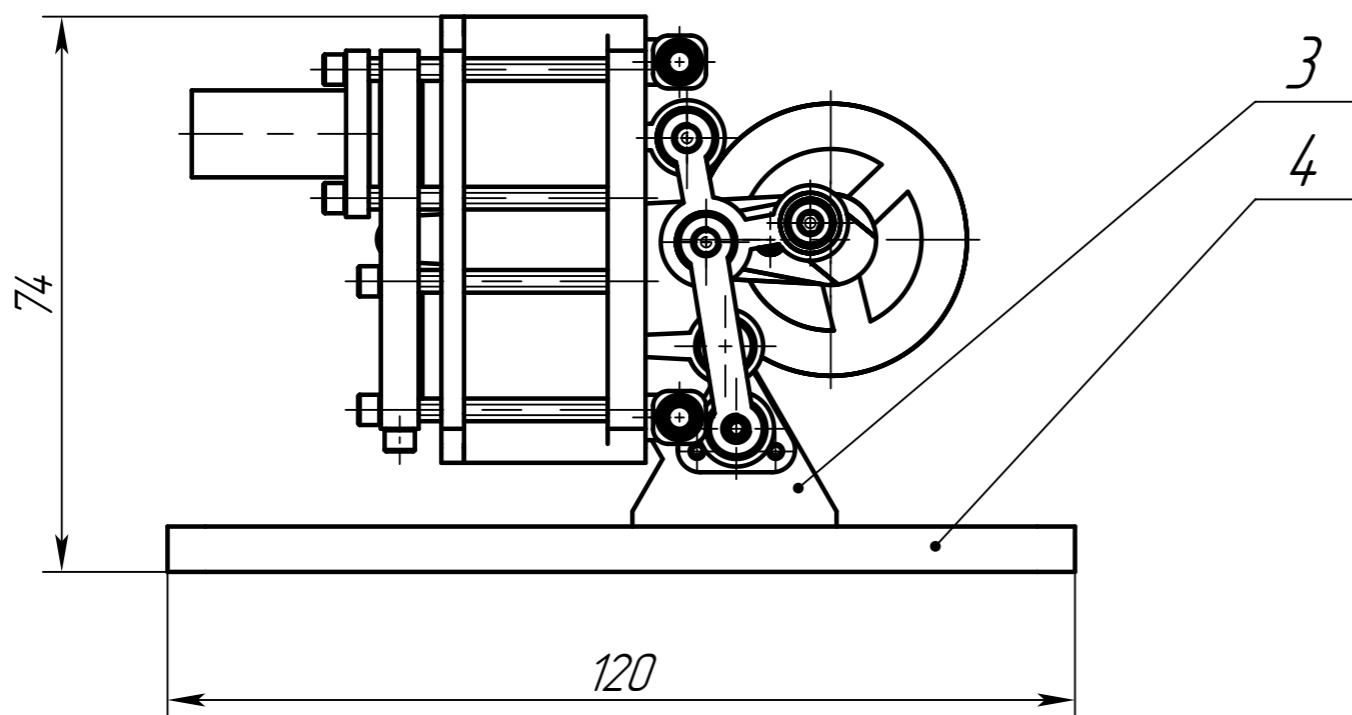
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед, кг	Примечание
		<u>Сборочные единицы</u>			
1	687.13.05.01.000	Блок цилиндров	1	0,3	
2	687.13.05.02.000	Коромысловая система	1	0,05	
3	687.13.05.03.000	Маховичная стойка	1	0,04	
		<u>Детали</u>			
4	687.13.05.00.001	Платформа	1	0,28	

					687.13.05.00.000 В0			
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Двигатель Стирлинга с Жидкостным Охлаждением Чертеж общего вида	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Горностаев А. С.				У	0,67	1:1
Пров.		Иванов М. Б.				Лист	Листов	1
Т.контр.						НИЯУ МИФИ Б23-101		
Н.контр.								
Утв.								

Копировал

Формат А3

687.13.05.01.000 СБ

Перв. примен.
687.13.05.01.000

Справ. №

Подп. и дата

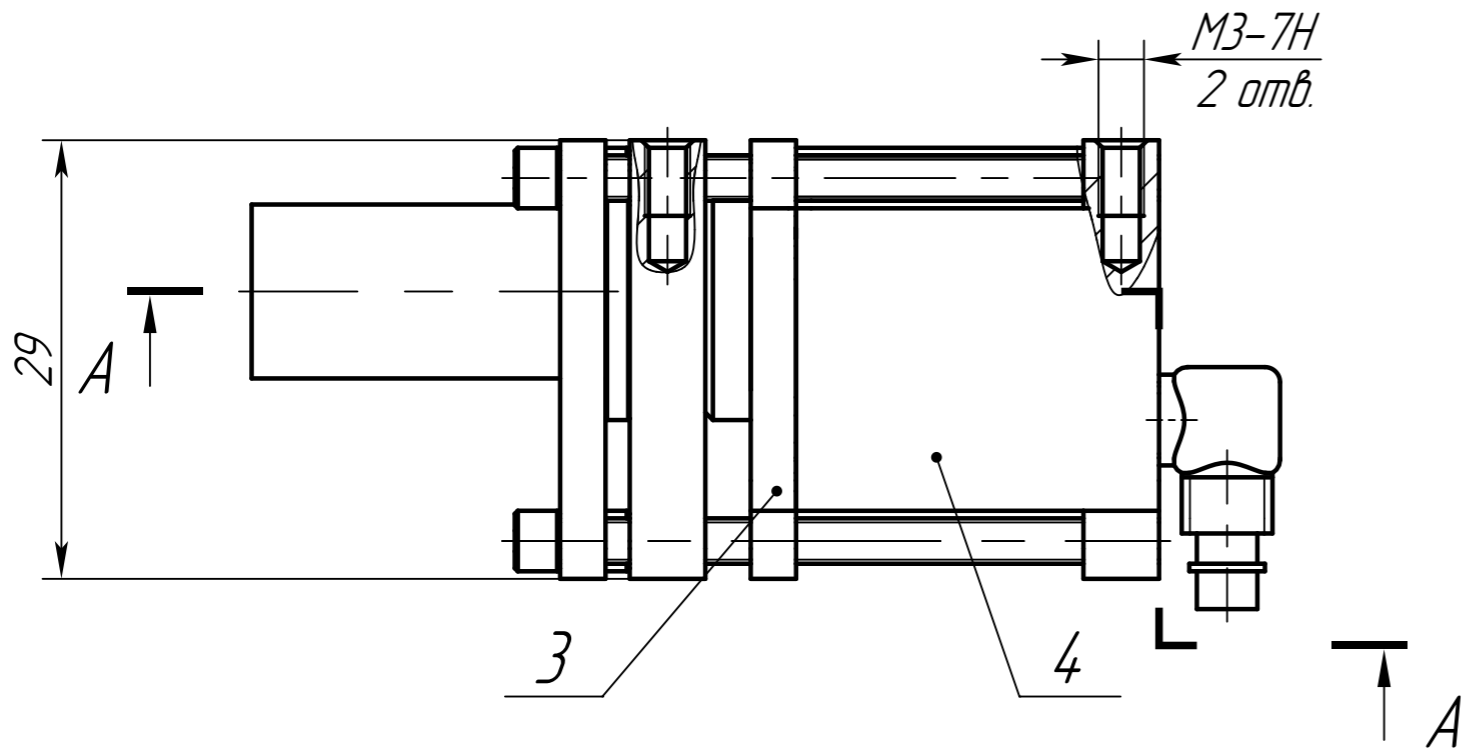
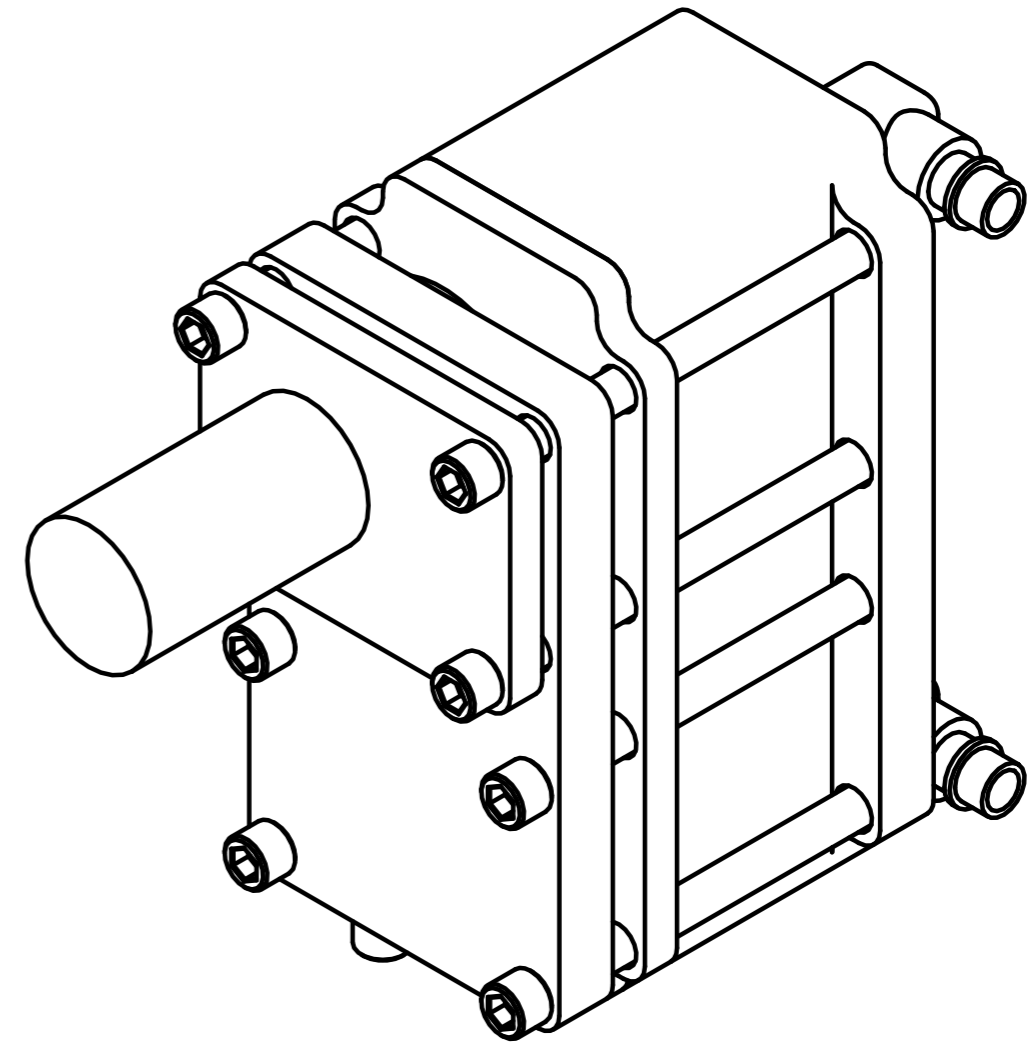
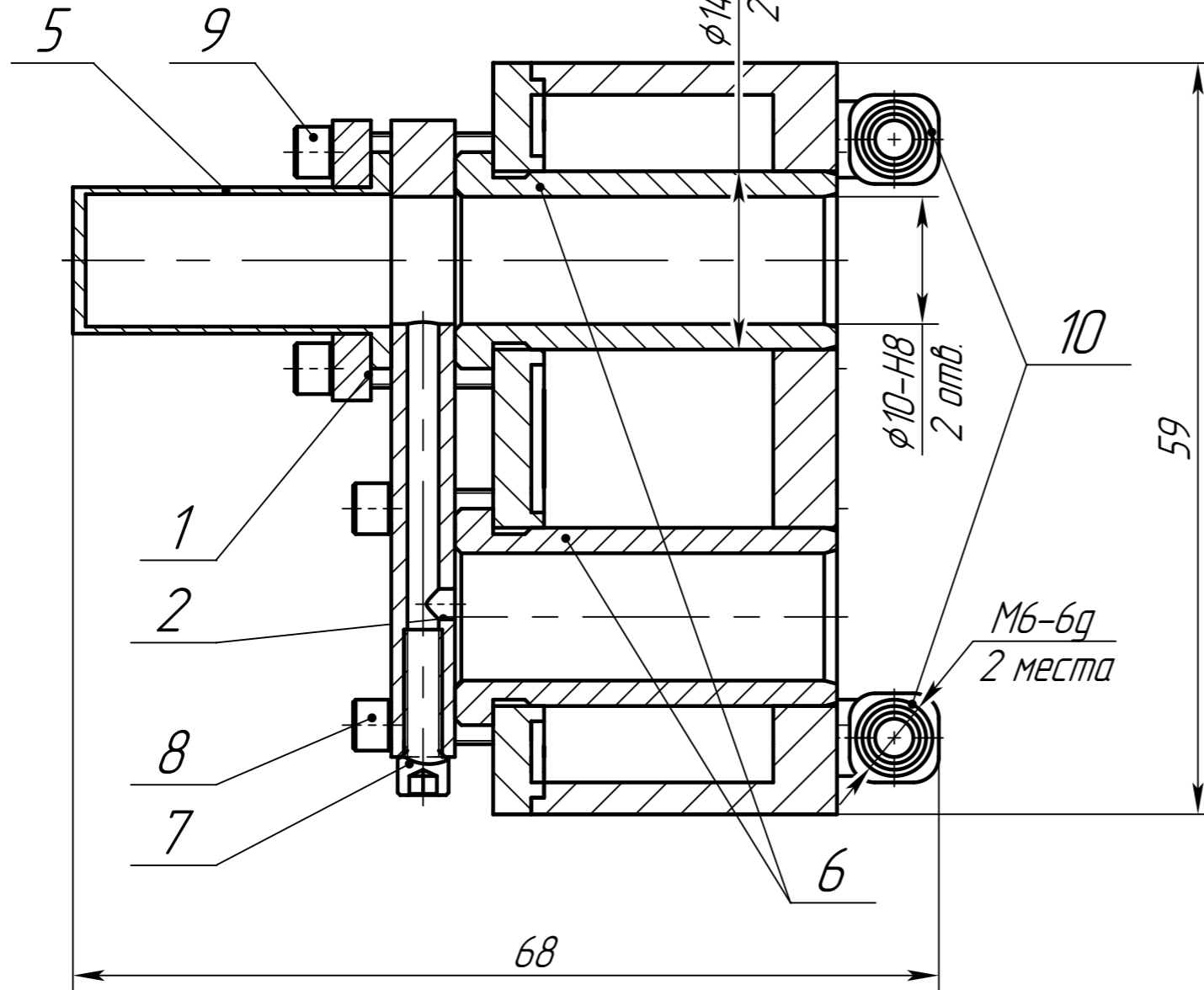
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

A-A



					687.13.05.01.000 СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Блок цилиндров	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Горностаев А. С.					У	0,3	2:1
Пров.	Иванов М. Б.				Сборочный чертёж	Лист	Листов	1
Т.контр.						НИЯУ МИФИ Б23-101		
Н.контр.								
Утв.								

Копировал

Формат А3

687.13.05.02.000 СБ

Перв. примен.
687.13.05.02.000

Справ. №

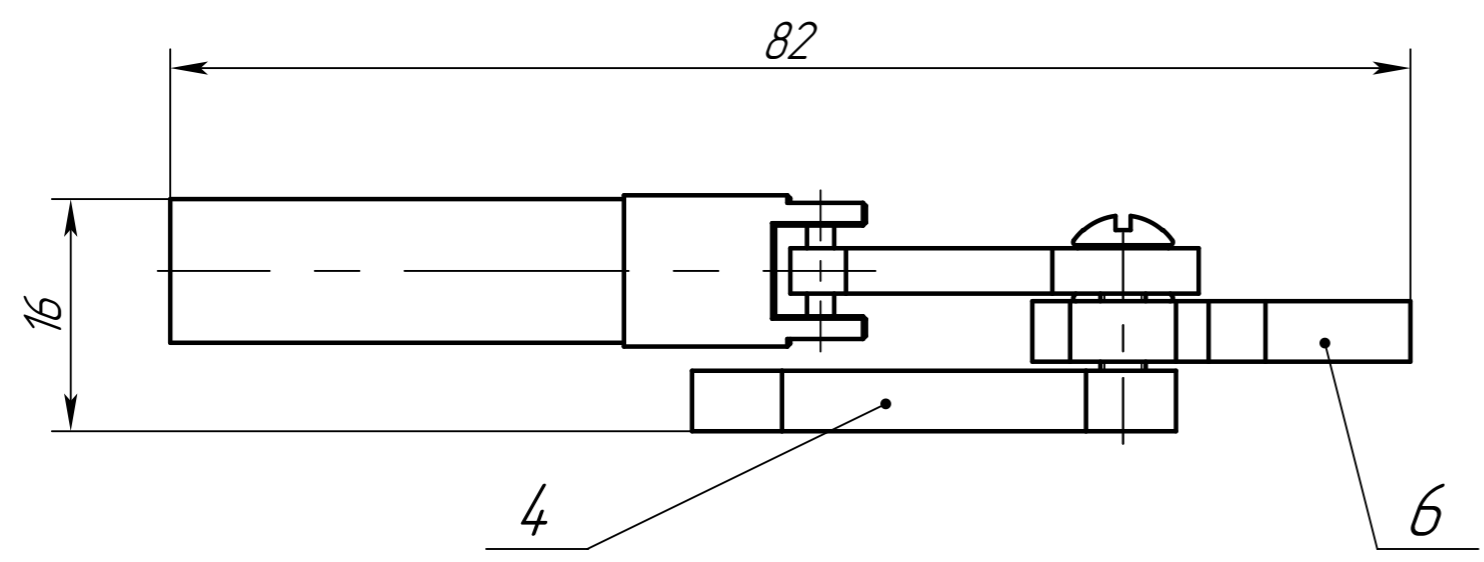
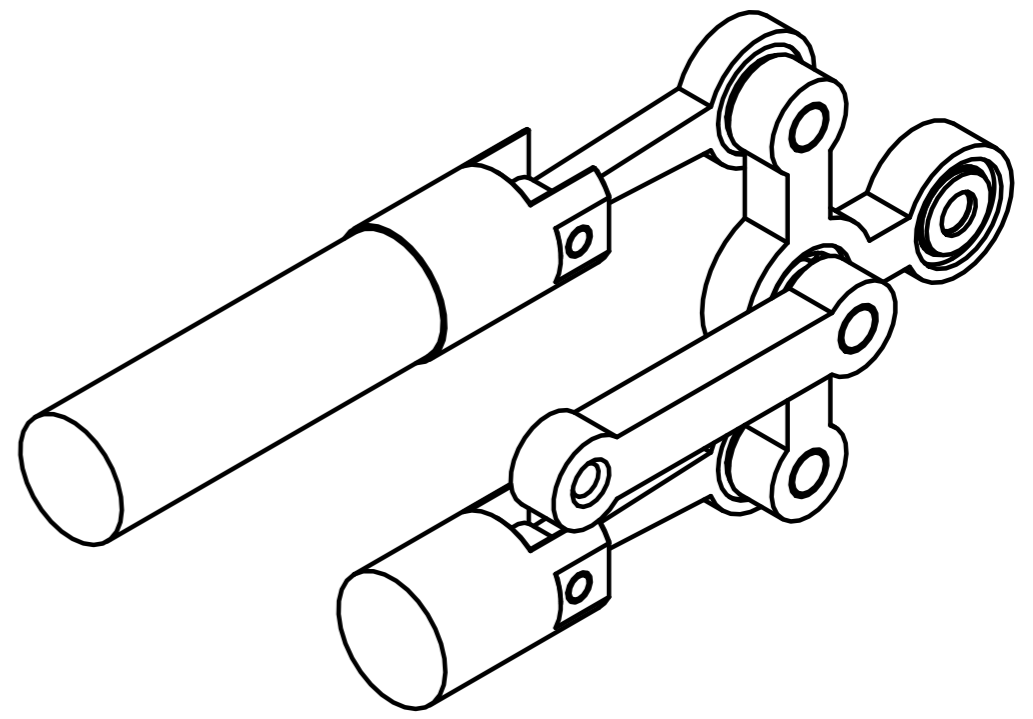
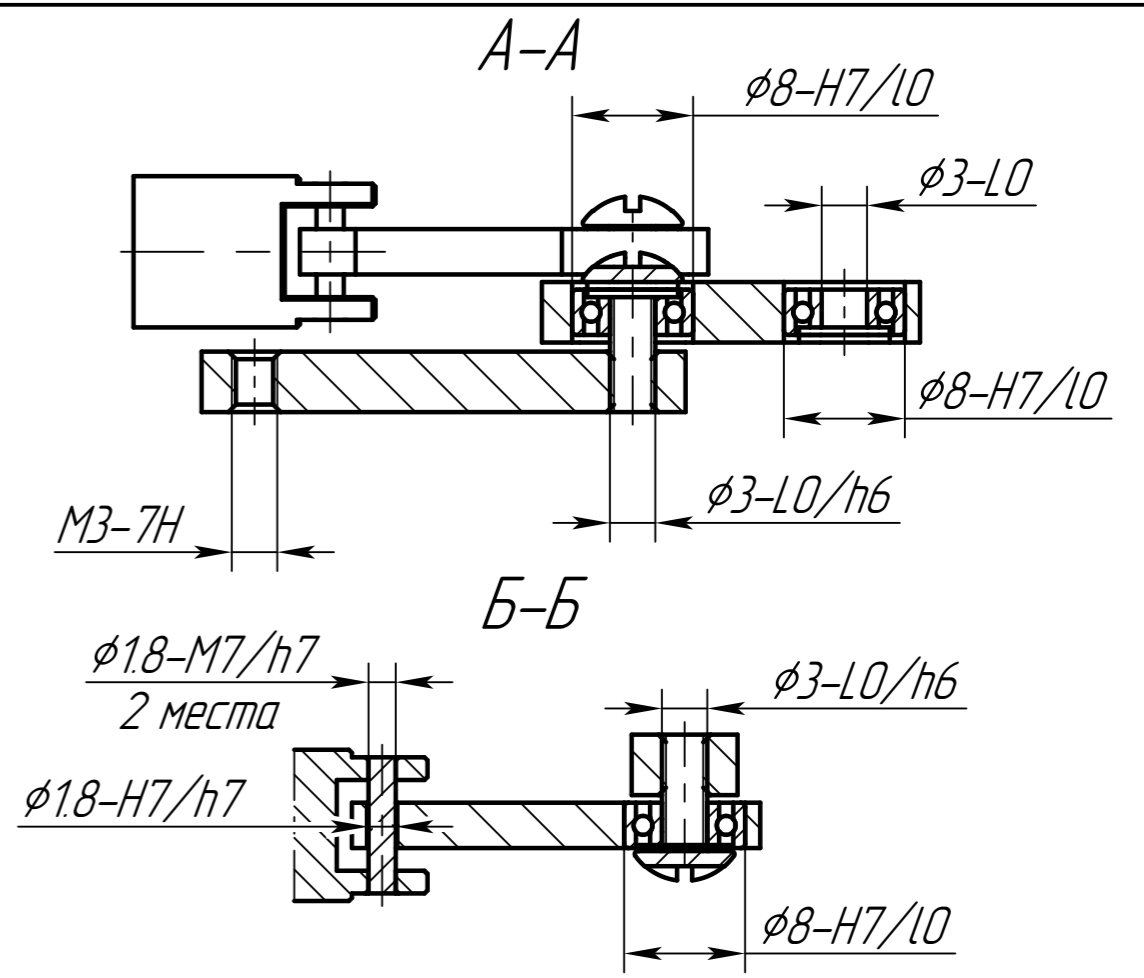
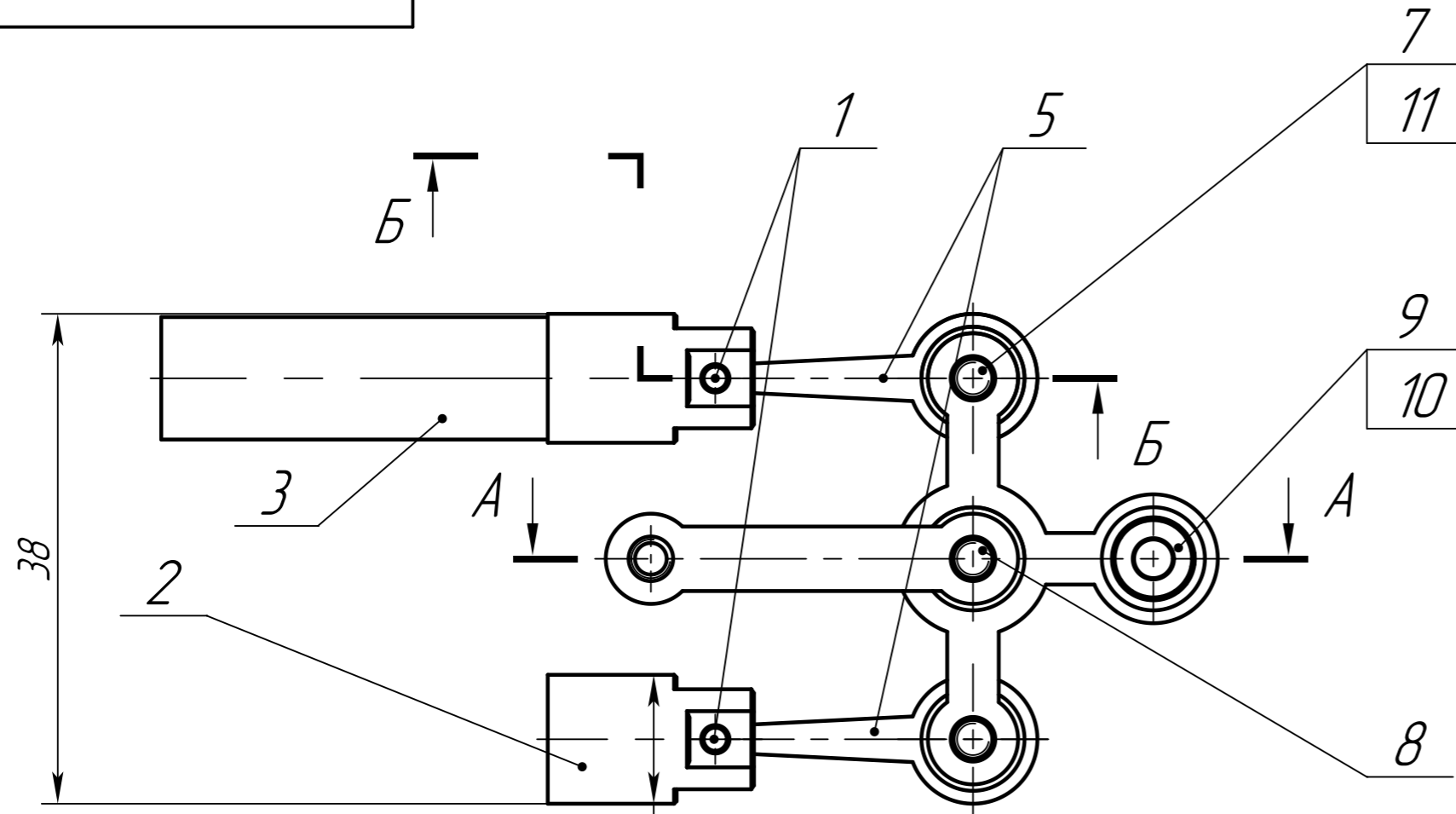
Подп. и дата

Инв. № дцкл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



					687.13.05.02.000 СБ			
Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	Коромысловая система	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Горностаев А. С.					у	0.05	2:1
Пров.	Иванов М. Б.				Сборочный чертёж	Лист	Листов	1
Т.контр.						НИЯУ МИФИ Б23-101		
Н.контр.								
Утв.								

Копировал

Формат А3

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A3			687.13.05.02.000 СБ	Сборочный чертеж		
<u>Детали</u>						
A4	1		687.13.05.02.001	Поршневой палец	2	
A4	2		687.13.05.02.002	Поршень	1	
A4	3		687.13.05.02.003	Поршень	1	
A4	4		687.13.05.02.004	Направляющий крепеж	1	
A4	5		687.13.05.02.005	Шатун	2	
A4	6		687.13.05.02.006	Коромысло	1	
<u>Стандартные изделия</u>						
	7			Винт с полусферической головкой DIN 7985-M3x8	2	
	8			Винт с полусферической головкой DIN 7985-M3x9	1	
	9			Подшипник 1000093 ГОСТ 8338-75	4	
	10			Шайба А 3.01.08кп.016 ГОСТ 10450-78	4	
687.13.05.02.000						
Изм. Лист			№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.			Горностаев А. С.			
Пров.			Иваний М. Б.			
Н.контр						
Утв.						
Коромысловая система				Лит.	Лист	Листов
					1	2
НИЯУ МИФИ Б23-101						

687.13.05.03.000 СБ

Перв. примен.
687.13.05.03.000

Справ. №

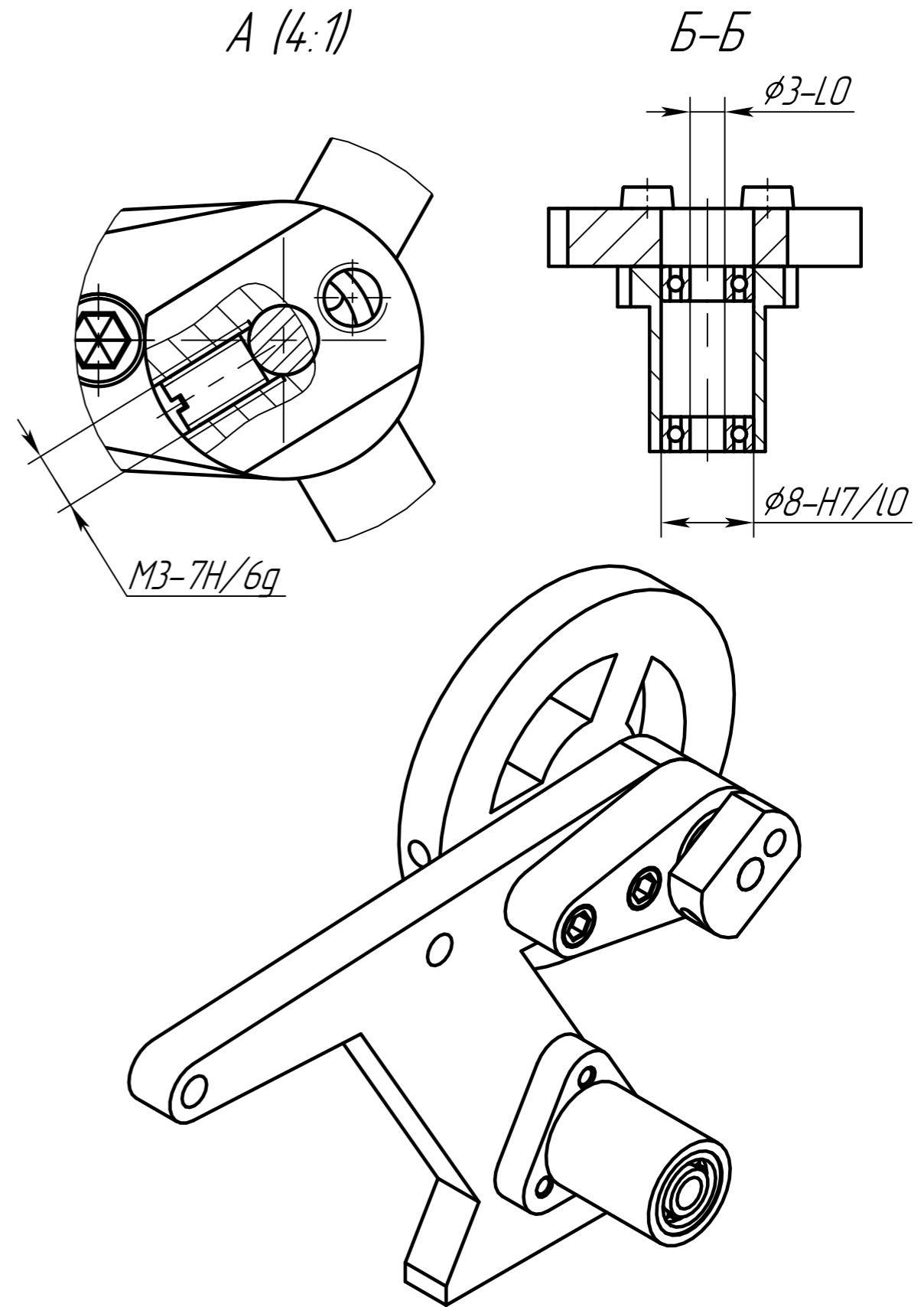
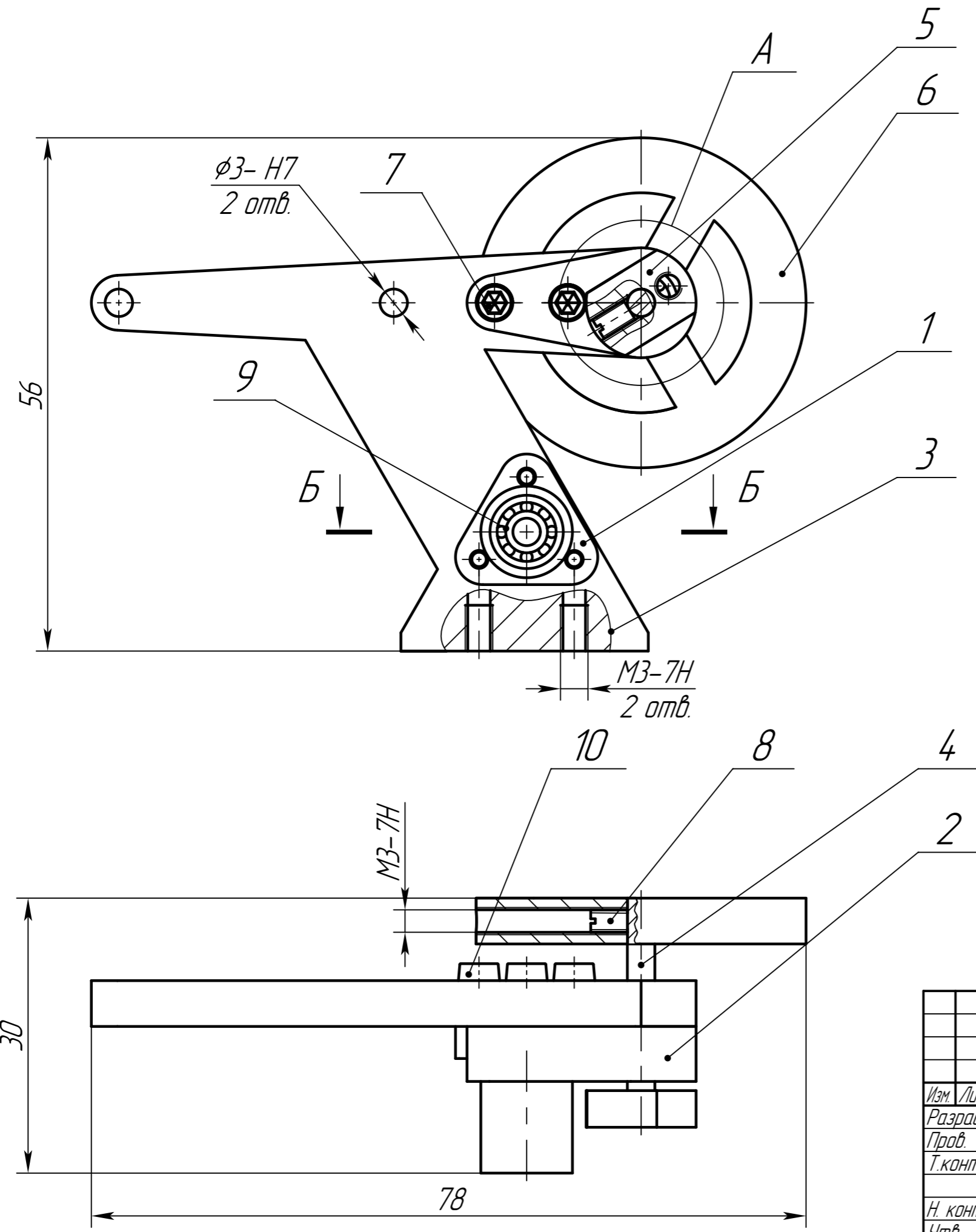
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



					687.13.05.03.000 СБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Маховичная стойка	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Горностаев А. С.					у	0.04	2:1
Пров.	Иванов М. Б.					Лист	Листов	1
Т.контр.						НИЯУ МИФИ Б23-101		
Н.контр.								
Утв.								

Копировал

Формат А3

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<u>Документация</u>						
A3			687.13.05.03.000 СБ	Сборочный чертеж		
<u>Детали</u>						
A4	1		687.13.05.03.001	Опора	1	
A4	2		687.13.05.03.002	Держатель	1	
A4	3		687.13.05.03.003	Стойка	1	
A4	4		687.13.05.03.004	Стержень	1	
A4	5		687.13.05.03.005	Эксцентрик	1	
A4	6		687.13.05.03.006	Маховик	1	
<u>Стандартные изделия</u>						
A4	7			Винт DIN 912-M3x8	2	
A3	8			Винт установочный DIN 913-M3x4	2	
	9			Подшипник 1000093 ГОСТ 8338-75	4	
	10			Винт с цилиндрической головкой ГОСТ Р ИСО 14580- M2.5x 8	3	
687.13.05.03.000						
Изм. Лист			№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.			Горностаев А. С.			
Пров.			Иванов М. Б.			
Н.контр						
Утв.						
Маховичная стойка				Лит.		Лист
				Листов		1
				НИЯУ МИФИ Б23-101		

687.13.05.01.004

$\sqrt{Ra\ 12.5(\checkmark)}$

Перв. примен.

Справ. №

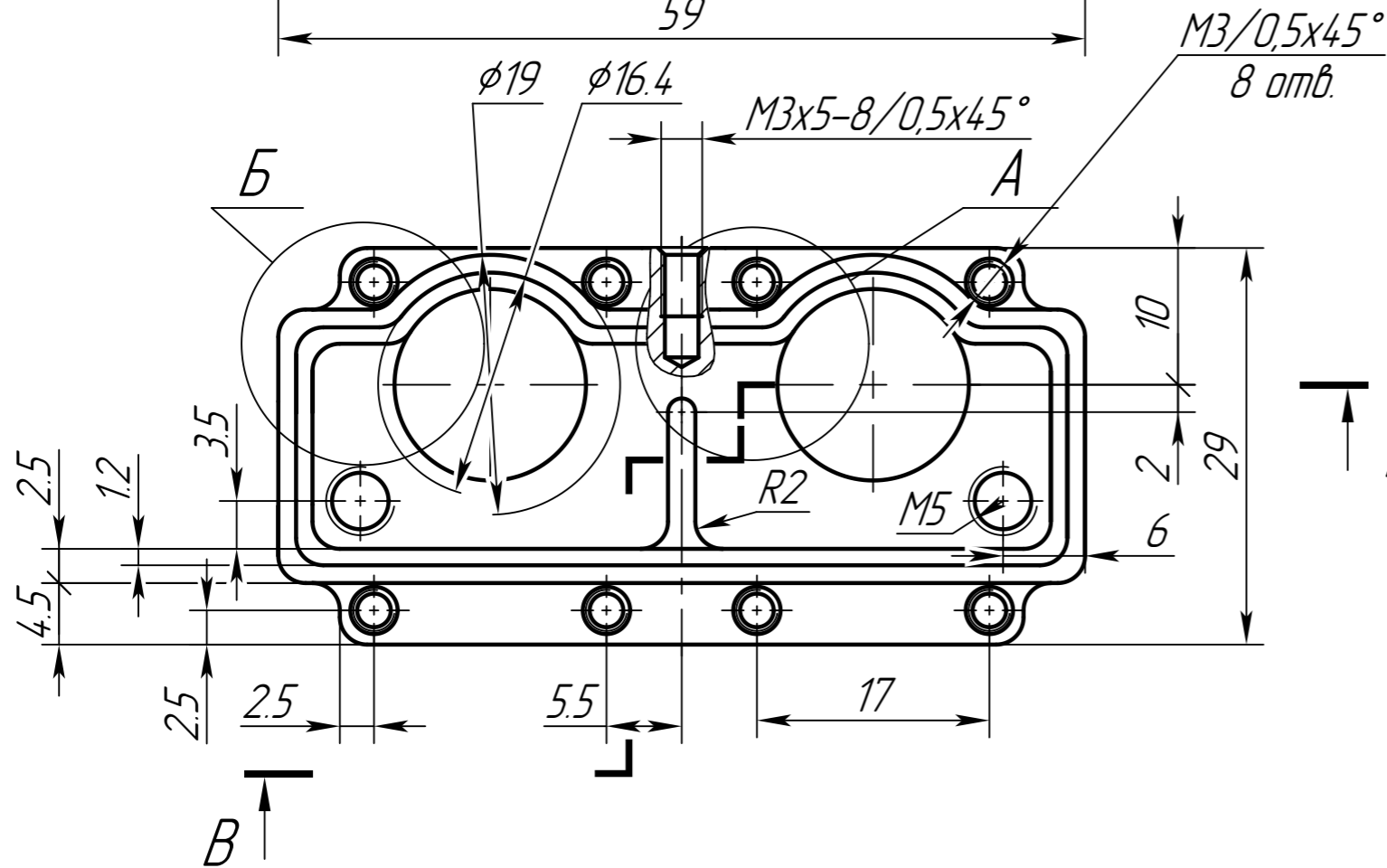
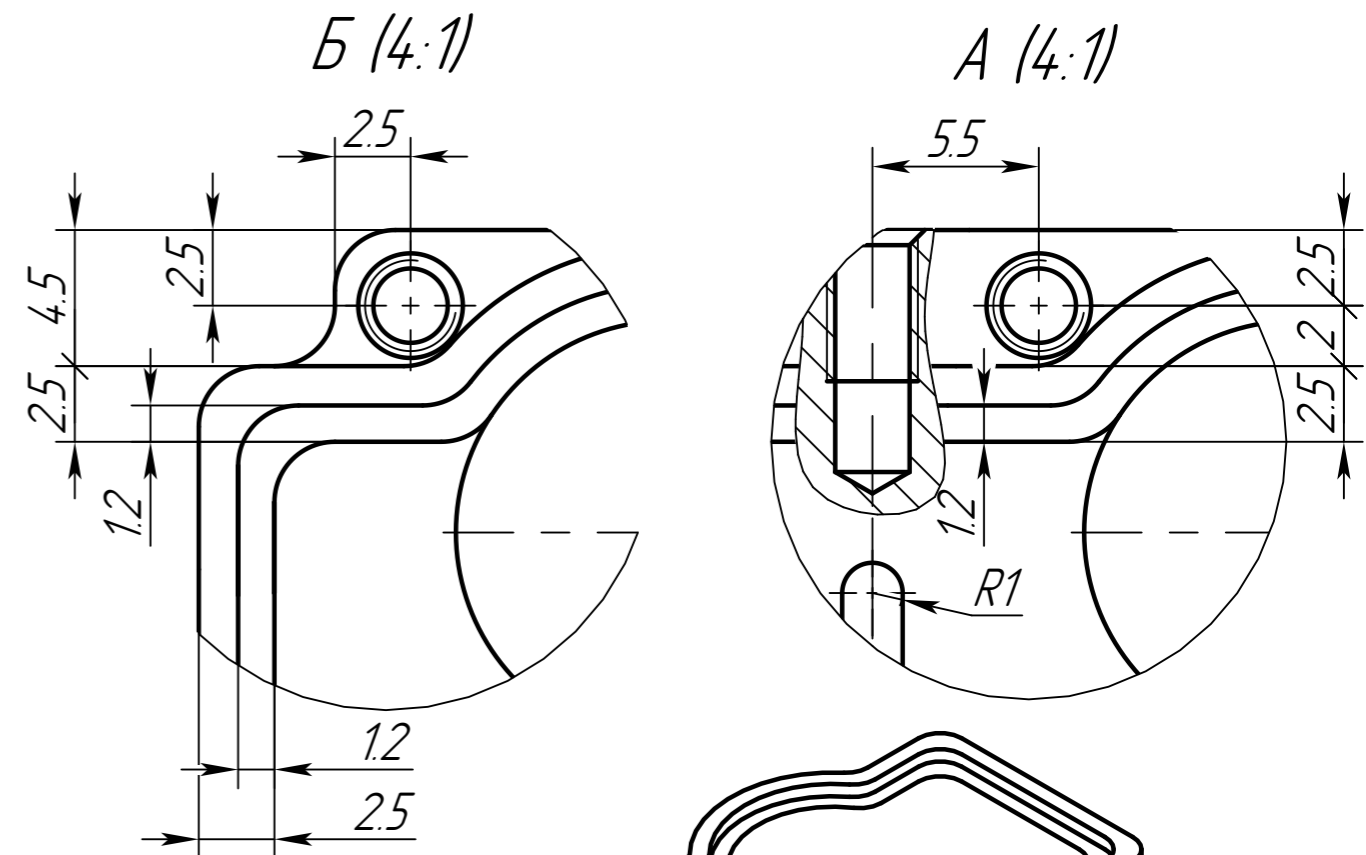
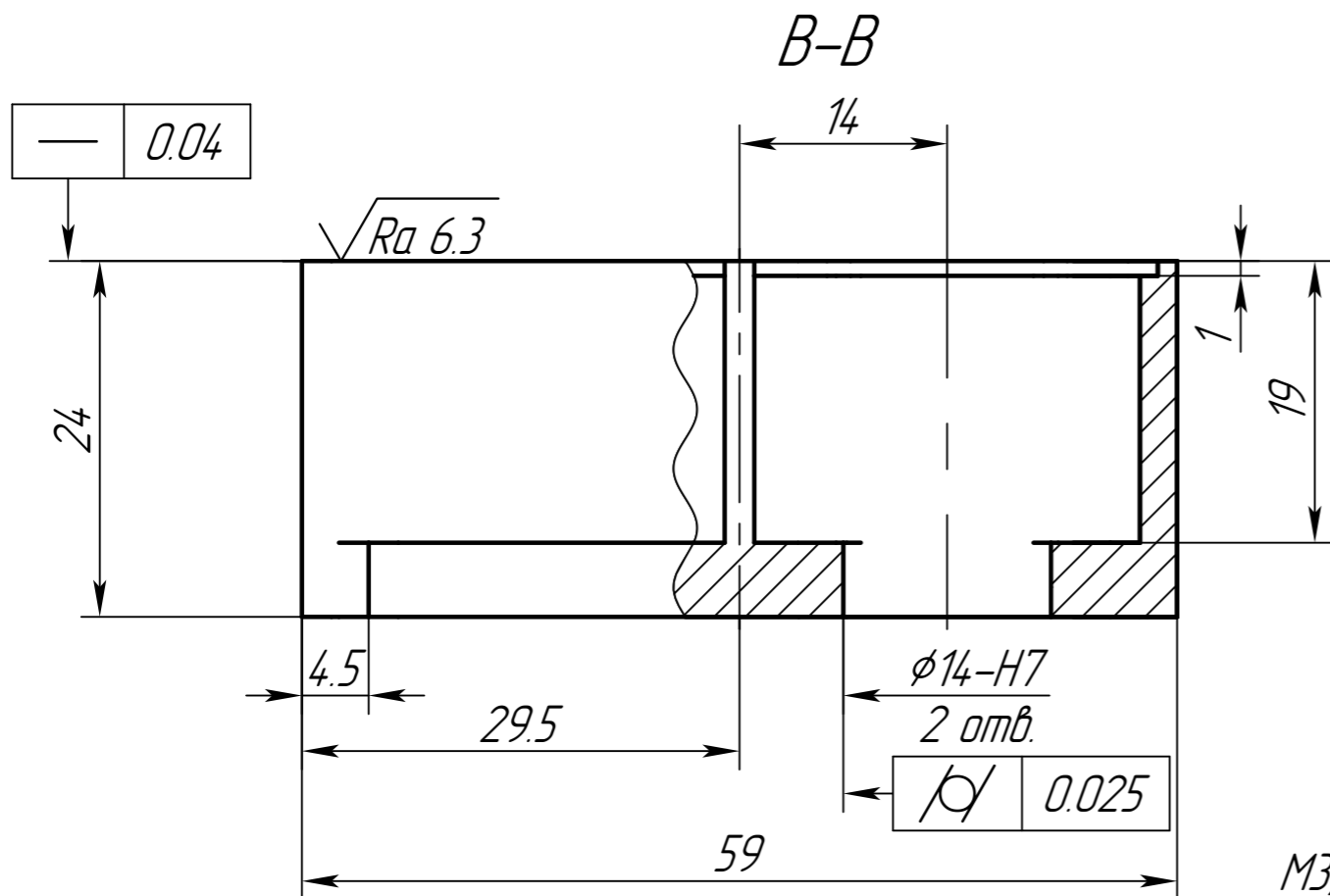
Подп. и дата

Инв. № дубл.

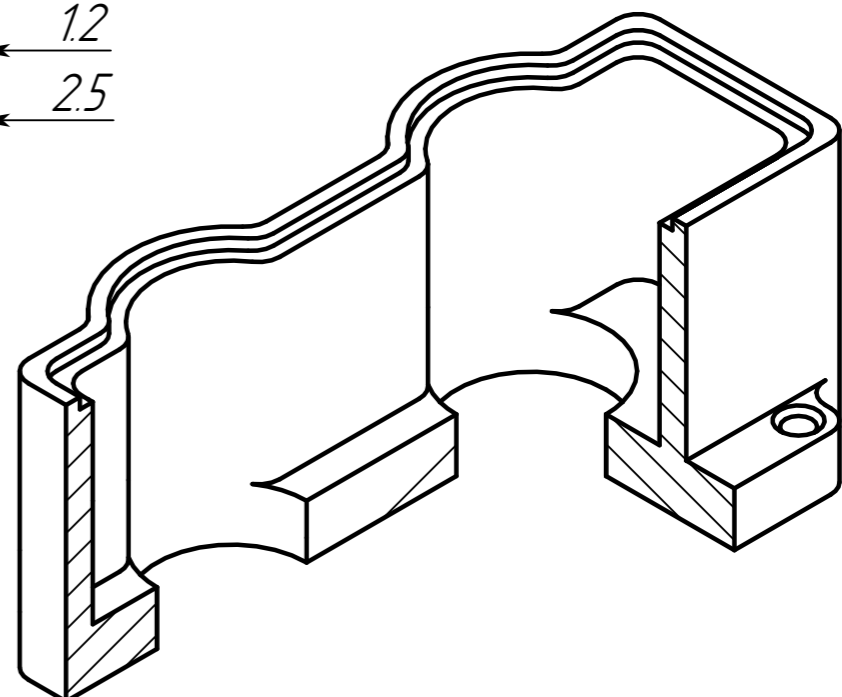
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



B



1. Неуказанные радиусы скруглений 2 мм.
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2002-МК.

					687.13.05.01.004			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Корпус кожуха	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Горностаев А. С.				У	0.12	2:1
Пров.		Иванов М. Б.				Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								
					Бр05С25 ГОСТ 613-79	НИЯУ МИФИ Б23-101		

Копировал

Формат А3

687.13.05.01.003

Перв. примен.

Справ. №

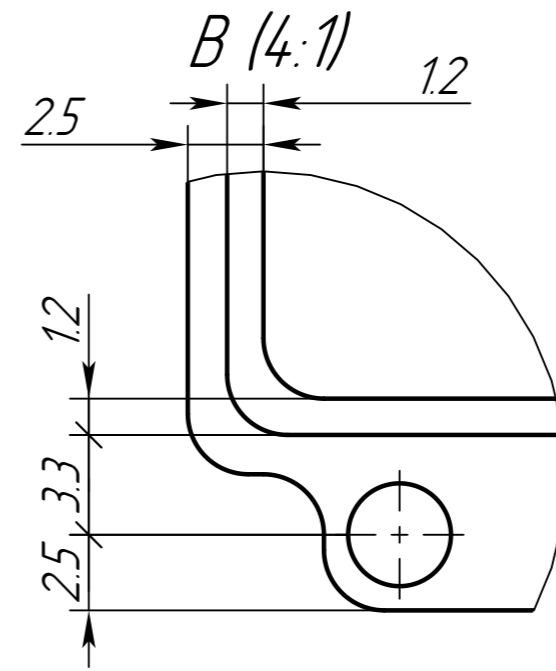
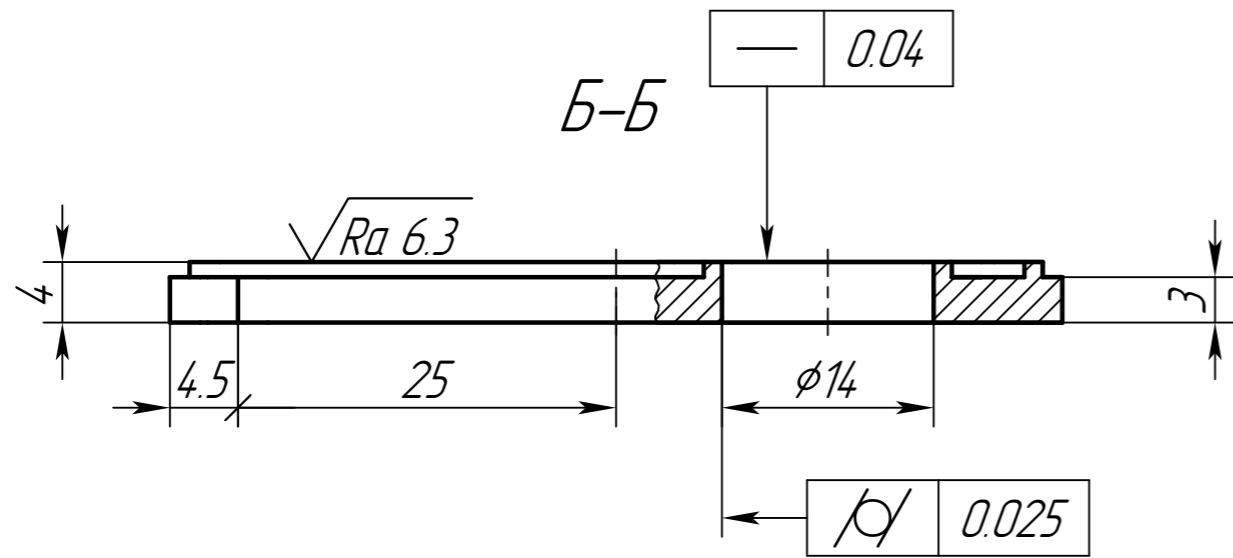
Подп. и дата

Инв. № дцкл.

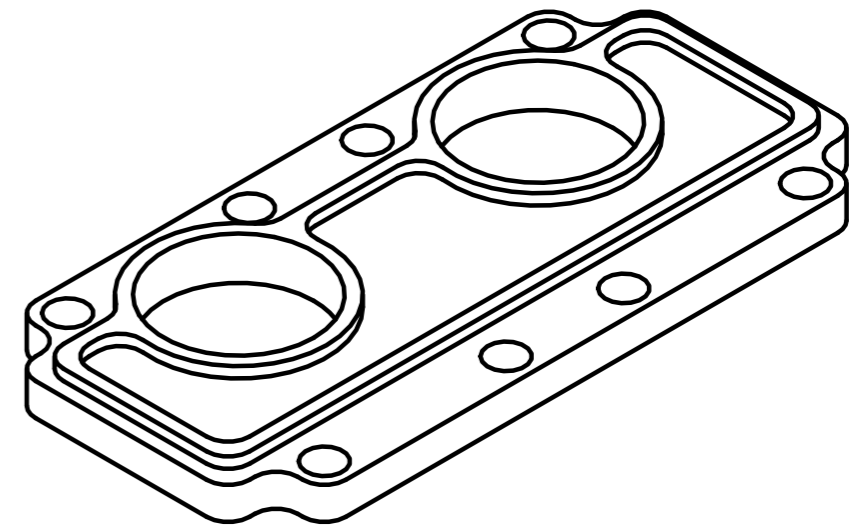
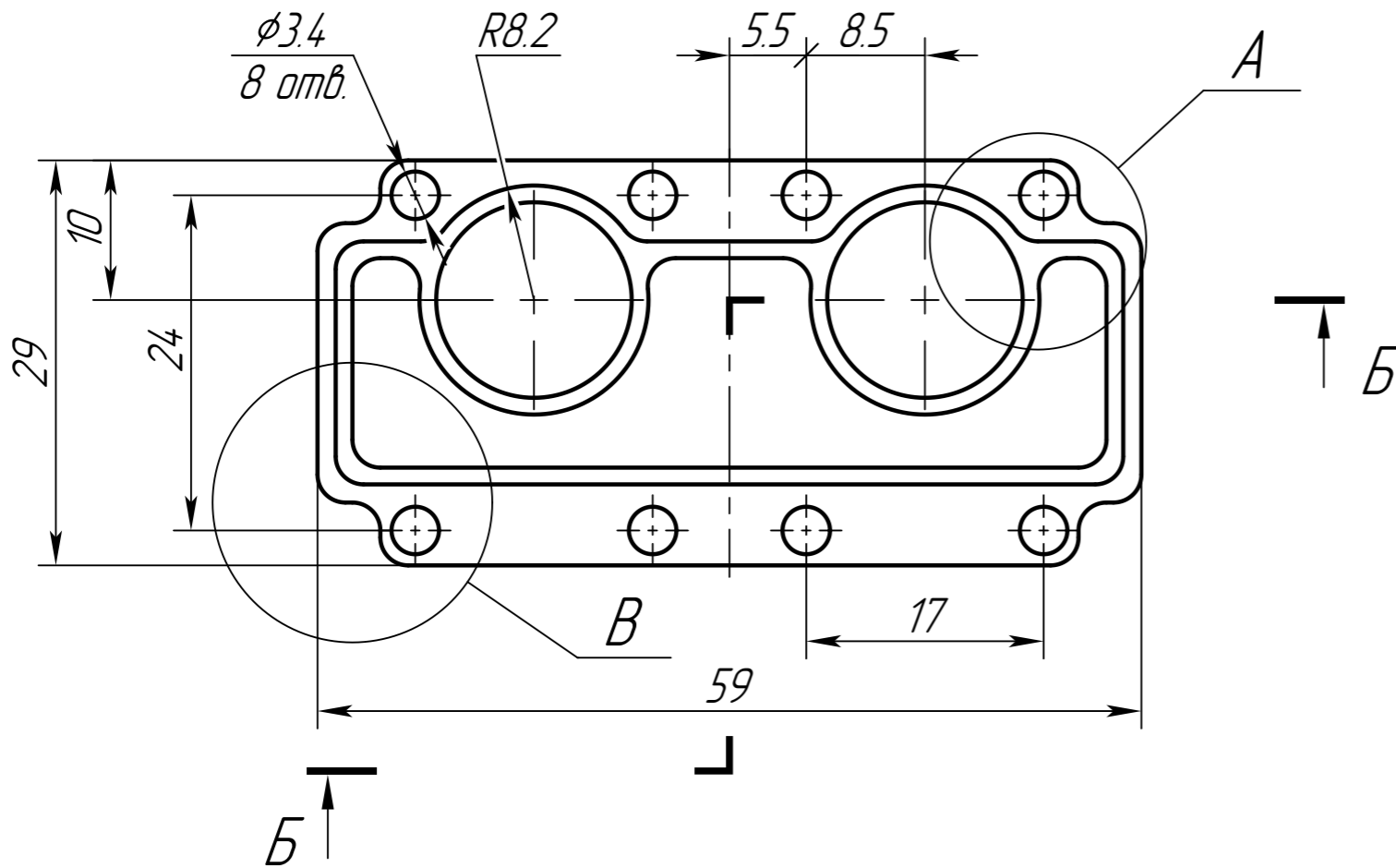
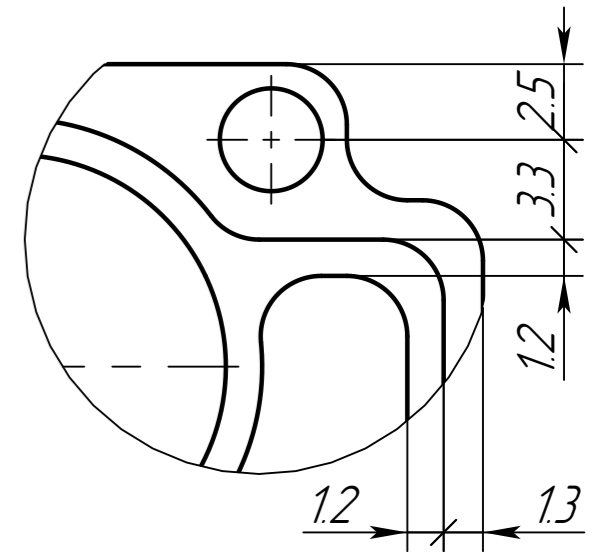
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



$\sqrt{Ra 12.5(\checkmark)}$
A (4:1)



1. Неуказанные радиусы скруглений 2 мм.
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2002-мк.

					687.13.05.01.003			
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Дно кожуха	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Горностаев А. С.				У	0.04	2:1
Пров.		Иванов М. Б.						
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.					Бр05С25 ГОСТ 613-79			
Утв.					НИЯУ МИФИ Б23-101			

Копировал

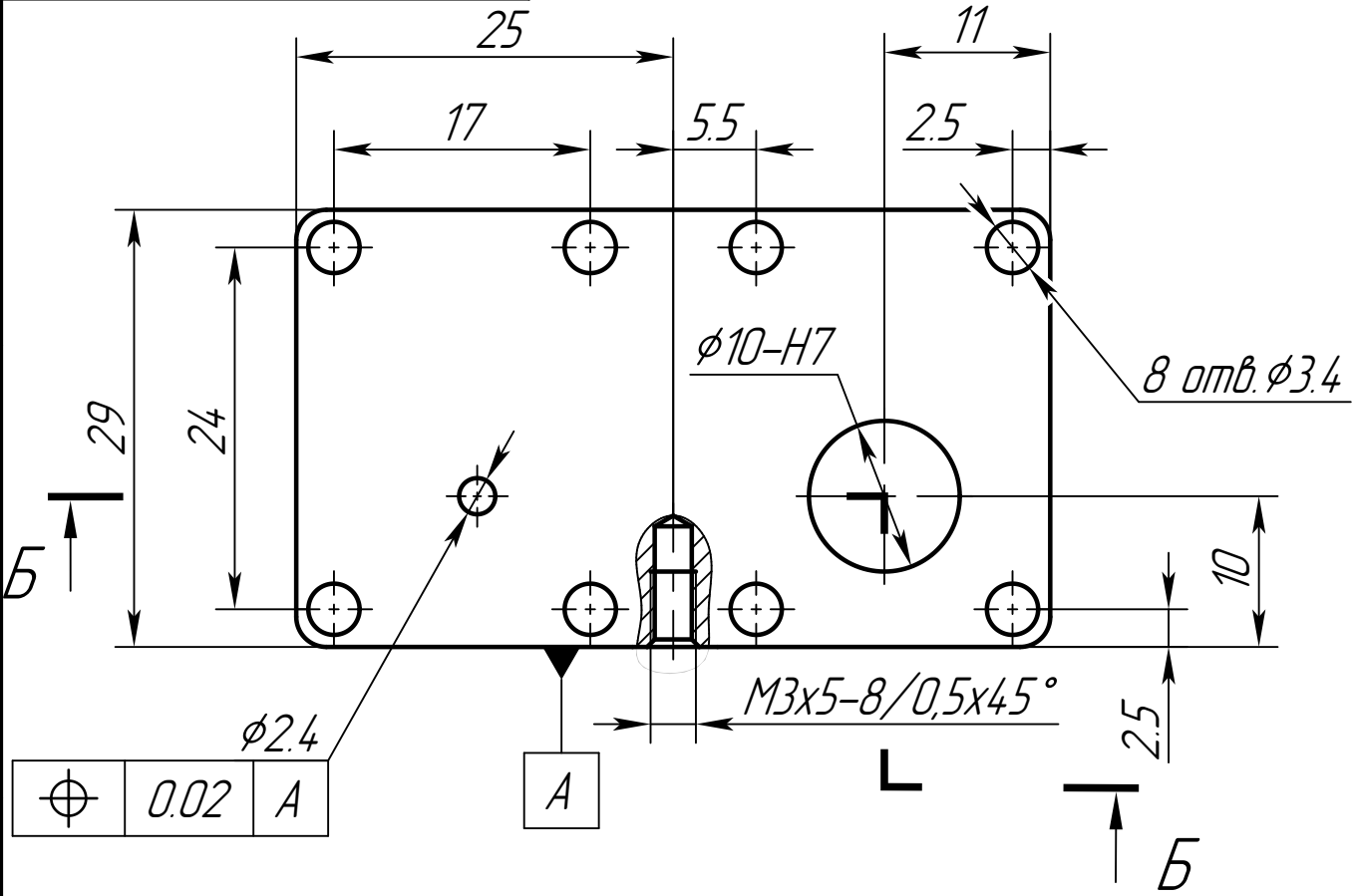
Формат А4

687.13.05.01.002

$\sqrt{Ra\ 12.5(\checkmark)}$

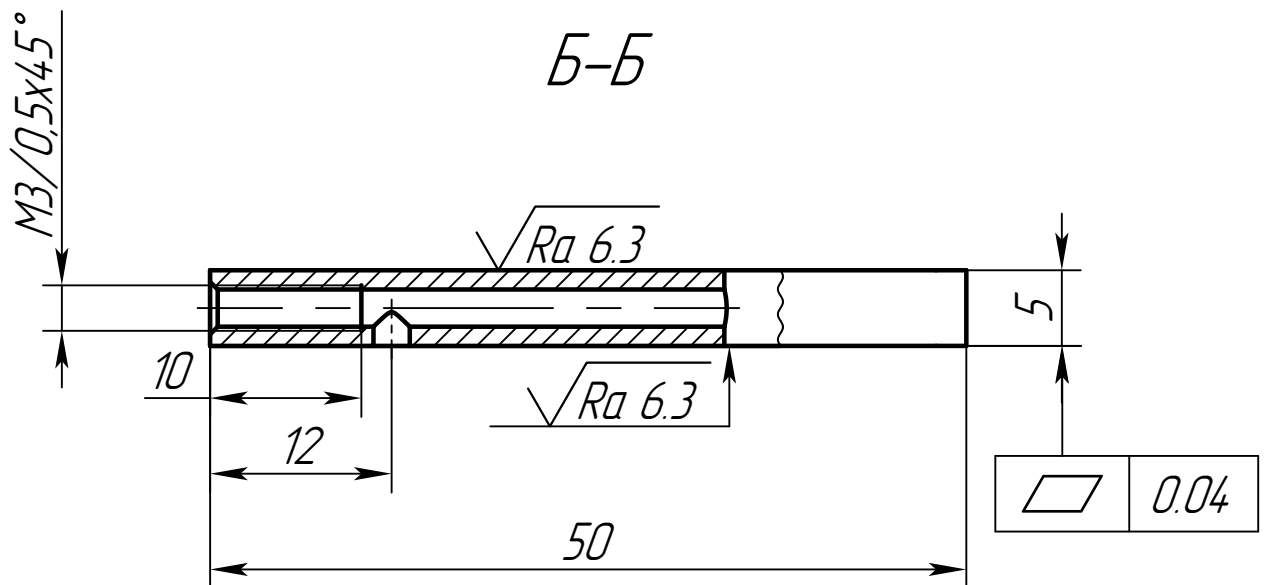
Перв. примен.

Справ. №



\oplus	0.02	A
----------	------	---

Б-Б



1. Неуказанные радиусы скруглений 2 мм.
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.2002-МК.

Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам.инв.№

Подп. и дата

Инв.№ подл.

687.13.05.01.002				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разрад.		Горностаев А. С.		
Пров.		Иваний М. Б.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				
Пластина			Лит.	Масса
Бр05С25 ГОСТ 613-79			У	0.06
			Лист 1	Листов 1
			НИЯУ МИФИ Б23-101	

687.13.05.01.001

$\sqrt{Ra} 12.5(\checkmark)$

Перв. примен.

Справ. №

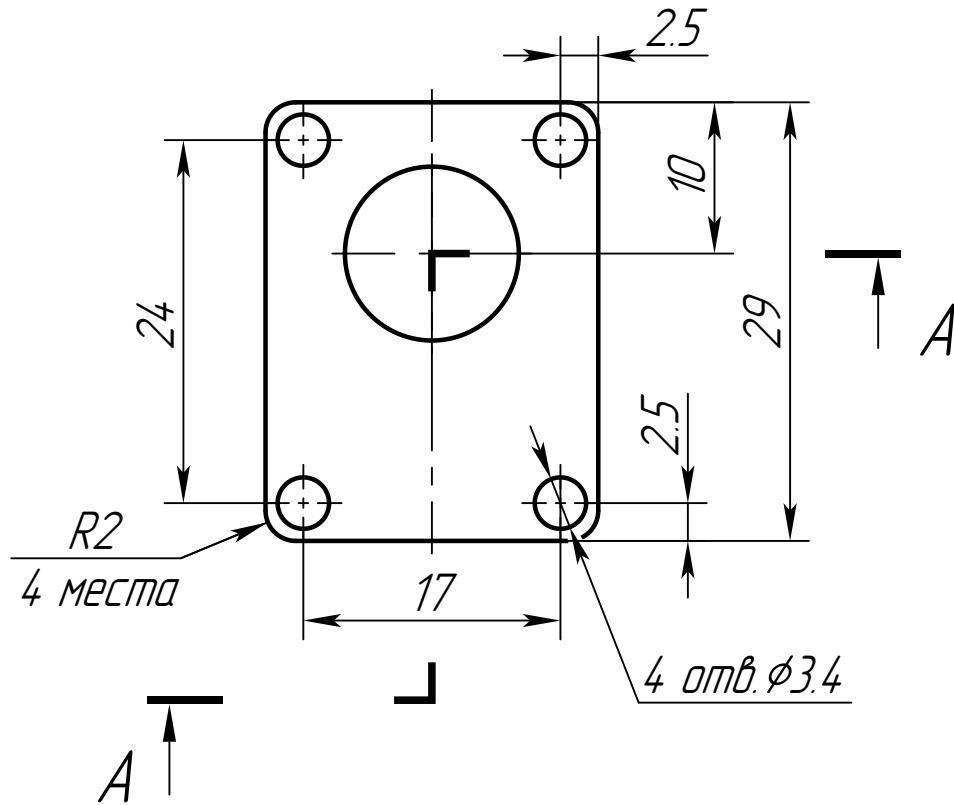
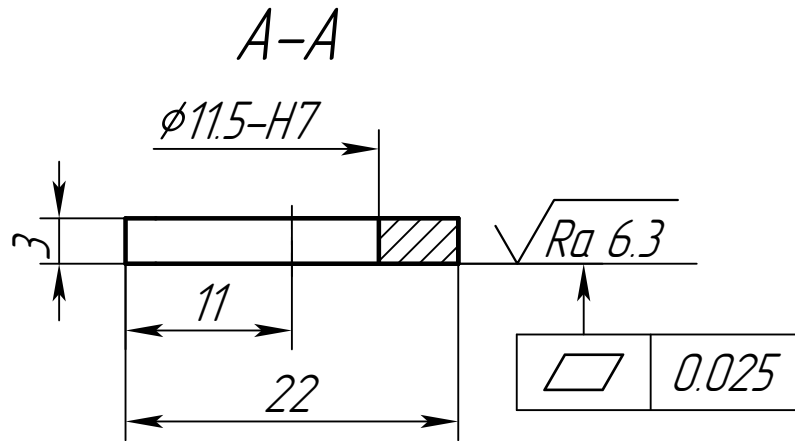
Подп. и дата

Инв.№ дробл.

Взам.инв.№

Подп. и дата

Инв.№ подл.



1. Общие допуски по ГОСТ 30893.2002-мк.

687.13.05.01.001

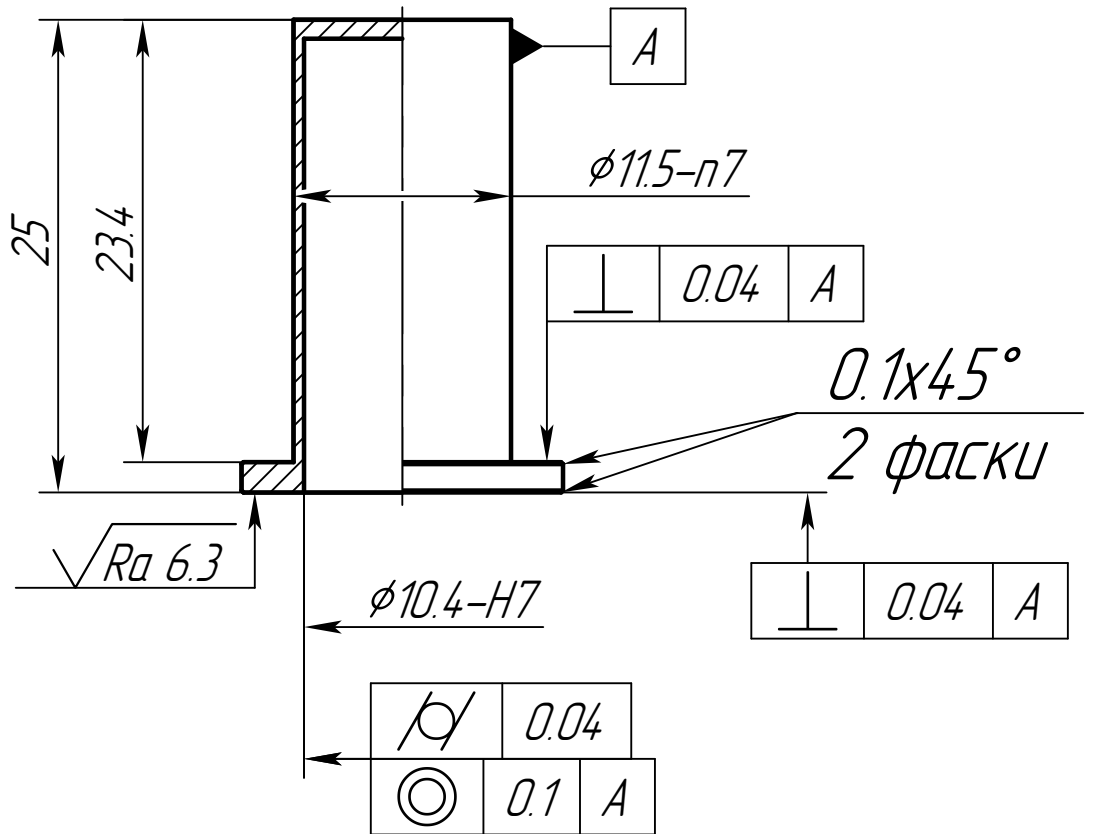
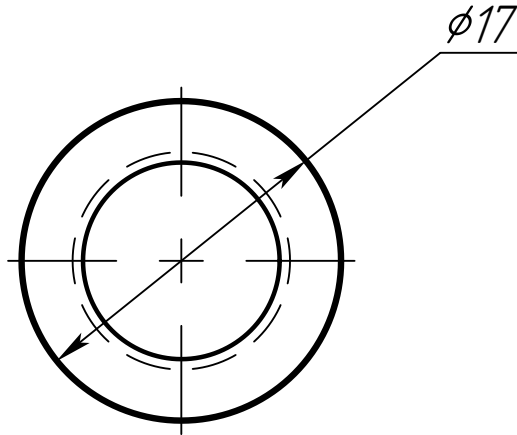
					687.13.05.01.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пластина	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Горностаев А. С.					У	0.004	2:1
Пров.	Иваний М. Б.					Лист 1	Листов 1	
Т.контр.					Бр05С25 ГОСТ 613-79		НИЯУ МИФИ Б23-101	
Н.контр.								
Утв.								

687.13.05.01.005

$\sqrt{Ra} 12.5(\checkmark)$

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв.№ дробл.

Взам.инв.№

1. Общие допуски по ГОСТ 30893.2002-мк.

Подп. и дата

Инв.№ подл.

687.13.05.01.005

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горностаев А. С.		
Пров.		Иваний М. Б.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Цилиндр

Бр05С25 ГОСТ 613-79

Лит.	Масса	Масштаб
У	0.01	2.5:1
Лист	Листов	1

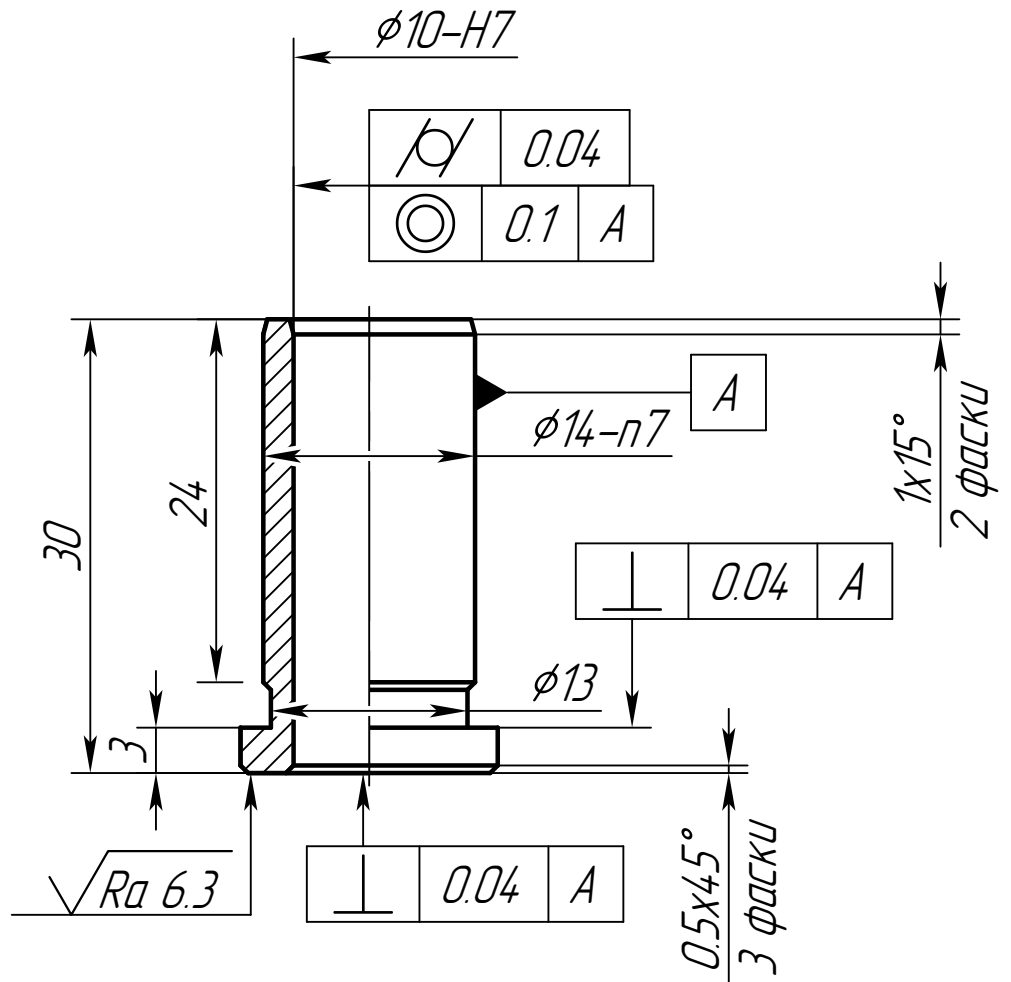
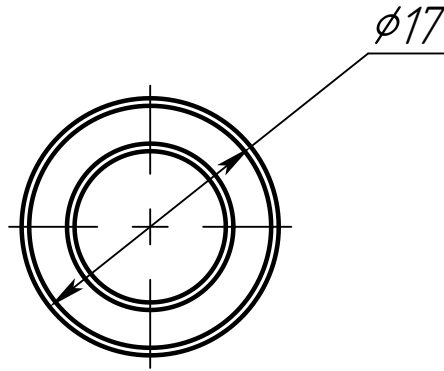
НИЯУ МИФИ
Б23-101

687.13.05.01.006

$\sqrt{Ra\ 12.5(\checkmark)}$

Перв. примен.

Справ. №



1. Общие допуски по ГОСТ 30893.2002-мк.

Подп. и дата

Инв.№ дцкл.

Взам.инв.№

Подп. и дата

Инв.№ подл.

687.13.05.01.006

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горностаев А. С.		
Пров.		Иваний М. Б.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Цилиндр

Бр05С25 ГОСТ 613-79

Лит.	Масса	Масштаб
У	0.02	2:1
Лист	Листов	1

НИЯУ МИФИ
Б23-101