



**САМАРСКИЙ** УНИВЕРСИТЕТ  
SAMARA UNIVERSITY

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»  
(Самарский университет)

Институт информатики, математики и электроники  
Факультет электроники и приборостроения  
Кафедра лазерных и биотехнических систем

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**«Лазерный флуоресцентный лидар для контроля углеводов в  
акваториях»**

по направлению подготовки

12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии» (уровень бакалавриата)

профиль «Фотоника и лазерная биомедицина»

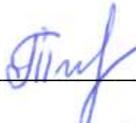
Студент \_\_\_\_\_  Карпова Е.В.

(подпись)

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  Тимченко Е.В.

К.ф.-м.н., доцент \_\_\_\_\_

(подпись)

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  Тимченко Е.В.

(подпись)

Самара 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)

Кафедра лазерных и биотехнических систем

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ / В.П.Захаров/

(подпись) И.О. Фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Задание на выпускную квалификационную работу (ВКР)**

Студентке Карповой Евгении Вячеславовне

(ФИО, полностью)

Группы 6463-120305D

1. Тема ВКР:

«Лазерный флуоресцентный лидар для контроля углеводов в акваториях»

утверждена приказом по университету от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

2. Перечень вопросов, подлежащих разработке в ВКР:

2.1 РАСЧЁТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ:

2.1.1 Провести анализ оптических характеристик углеводов

2.1.2 Изучить методы оптического контроля углеводов

2.1.3 Изучить оптические системы контроля углеводов

2.2 КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ:

2.2.1 Провести расчет разработанной оптической схемы флуоресцентного лидара

2.2.2. Спроектировать лазерный флуоресцентный лидар для контроля углеводов в акваториях

2.2.3. Провести оценку мощности обратного сигнала лидара

2.3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

3. Дата выдачи задания: « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

4. Срок представления на кафедру законченной ВКР: « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

Руководитель ВКР

Доцент, к.т.н., доцент кафедры ЛБС

должность, степень

подпись

И.О. Фамилия

/Е.В.Тимченко/

Задание принял к исполнению

/Е.В.Карпова/

подпись студента

И.О. Фамилия студента

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит: 69 страниц, 17 рисунков, 2 таблиц, 26 источников.

Графическая документация: 1 чертеж А1, 3 чертежа А2, 2 чертежа А3, 10 чертежей А4.

ЛИДАР, КОЛЛИМАТОР, ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ, ЛИДАРНОЕ УРАВНЕНИЕ, АБСОРБЦИОННЫЙ МЕТОД, ОТРАЖЕНИЕ ИК-РАССЕЯНИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА, СКАНАТОР, УГЛЕВОДОРОДЫ.

Целью дипломного проекта является разработка лазерного лидара для контроля углеводов в акваториях в соответствии с требованиями технического задания.

В дипломном проекте проведен анализ оптических характеристик углеводов, изучены теоретические основы методов и систем контроля углеводов, а также рассмотрены принципы работы и существующие схемы флуоресцентных лидаров.

Произведен расчет оптической схемы лазерного лидара. Выполнен сборочный чертеж лазерной лидарной системы для контроля углеводов в акваториях.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 Оптические свойства углеводородов .....	7
1.1 Алканы.....	7
1.2 Алкены.....	8
1.3 Алкины .....	9
1.4 Алкадиены.....	9
1.5 Циклоалканы.....	10
1.6 Арены .....	11
2 Методы оптического контроля углеводородов.....	16
2.1 Абсорбционный метод.....	16
2.2 Флуоресцентный метод .....	17
2.3 Отражение Ик-рассеяния.....	16
3 Оптические системы контроля углеводородов.....	24
3.1 Погружной флуориметр .....	26
3.2 Лидарные системы .....	29
4 Расчет оптической схемы лидара .....	36
4.1 Оценка мощности обратного сигнала .....	37
4.2 Расчет коллиматора.....	39
4.2.1 Расчет первой линзы .....	40
4.2.2 Расчет второй линзы .....	36
5 Конструкция принципиальных узлов .....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	41
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ. СПЕЦИФИКАЦИЯ .....	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СХЕМА ОПТИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ .....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОРПУС .....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ДЕТАЛИРОВКА КОЛЛИМАТОРА. СПЕЦИФИКАЦИЯ ..	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ДЕТАЛИРОВКА.....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды, под которой понимаются также природная среда и биосфера — это повышенное содержание в ней физических, химических или биологических реагентов, не характерных для данной среды, занесенных извне, наличие которых приводит к негативным последствиям.

Ученые уже несколько десятилетий подряд бьют тревогу о близкой экологической катастрофе. Проведенные исследования в разных областях приводят к выводу, что мы уже сталкиваемся с глобальными изменениями климата и внешней среды под воздействием деятельности человека [1].

В Мировой океан непосредственно из атмосферы в результате обмена с подземными водами и, особенно с речным стоком, всегда попадали те или иные отходы хозяйственной деятельности человека, но примерно до конца 50-х годов нашего века их количество было таково, что морская среда справлялась с таким вмешательством путем естественных процессов самоочищения. Ныне поступления промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов в океан приобрело размеры, угрожающие сохранению природного равновесия[2].

Нефть и нефтепродукты — основные источники загрязнений речных, озерных и морских акваторий нашей планеты [3, 4]. Особенно актуальна проблема загрязнения нефтепродуктами прибрежных зон морей. Именно здесь, в прибрежных районах морей, наиболее сильно проявляются отрицательные последствия активной хозяйственной деятельности человека [3, 5]. Оперативно обнаружить загрязнения нефтепродуктами можно дистанционными методами, позволяющими инспектировать обширные водные поверхности за сравнительно малый промежуток времени. Среди методов оперативного контроля природной среды одними из наиболее перспективных являются методы лазерного дистанционного зондирования. Лазерные методы не требуют естественного освещения и могут

использоваться в широком диапазоне атмосферных условий независимо от времени суток. Также лазерные методы имеют высокую пространственно-угловую разрешающую способность, возможность фильтрации и временного стробирования полезного сигнала на фоне помех (солнечных бликов, импульсов обратного рассеяния от атмосферных слоев и т.п.).

Создание мощных лазеров позволило использовать для лазерного дистанционного зондирования методы флуоресцентного анализа. Одной из перспективных областей использования флуоресцентного анализа в дистанционном зондировании является контроль нефтяных загрязнений на водной и земной поверхности [6].

Поэтому цель данной дипломной работы является разработка лазерного лидара для контроля углеводородов в акваториях.

Для реализации нашей цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ оптических характеристик углеводородов
2. Изучить методы оптического контроля углеводородов
3. Изучить оптические системы контроля углеводородов
4. Провести расчет разработанной оптической схемы лидара
5. Спроектировать лазерный лидар для контроля углеводородов в акваториях
6. Провести оценку мощности обратного сигнала лидара

## 1 Оптические свойства углеводородов

Рассматривая оптические свойства нефтепродуктов, то к ним можно будет отнести такие характеристики, как цвет, коэффициент лучепреломления, удельная рефракция, оптическая плотность и активность[7]. И самое главное, что все эти показатели существенно зависят от химической природы вещества. Соответственно, оптические свойства нефтепродуктов косвенно характеризуют их химический состав.

Также стоит заметить, что в нефти и корабельных топливах содержится около 1000 различных соединений углеводородов.

Все существующие углеводороды делятся на 6 основных подгрупп:

1. Алканы;
2. Алкены;
3. Алкины;
4. Алкадиены;
5. Циклоалканы;
6. Арены.

Так как мы будем использовать флуоресцентный метод, то необходимо разобраться на какой длине волны происходит флуоресценция у различных групп углеводородов, для того что бы в дальнейшем этим воспользоваться.

### 1.1 Алканы

Алканы, или же по-другому насыщенные углеводороды, парафины и алифатические соединения — ациклические углеводороды линейного или разветвлённого строения, которые содержат только простые связи. Имеют гомологический ряд с общей формулой  $C_nH_{2n+2}$ , где  $n$  — число атомов углерода.

С  $CH_4$  до  $C_4H_{10}$  — газы; с  $C_5H_{12}$  до  $C_{16}H_{34}$  — жидкости; после  $C_{17}H_{36}$  — твёрдые тела.

Приведем спектр поглощения некоторого из алканов [8]:

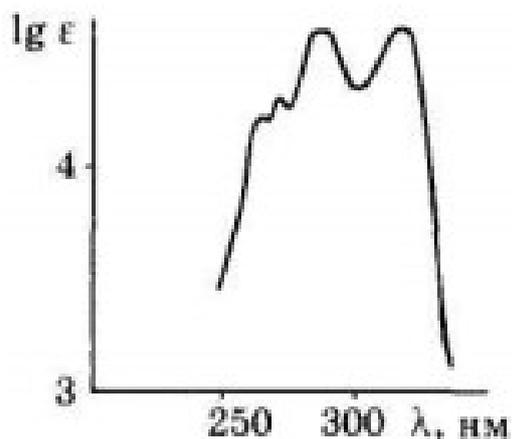


Рисунок 1 – Спектр поглощения гексана  $C_6H_{14}$  в ультрафиолетовой области

Спектр испускания является зеркальным отражением спектра поглощения.

## 1.2 Алкены

Алкены, по-другому олефины или этиленовые углеводороды — ациклические непредельные углеводороды, которые содержат одну двойную связь между атомами углерода. Имеющие гомологический ряд с общей формулой  $C_nH_{2n}$ , где  $n$  — число атомов углерода.

С  $C_2H_4$  до  $C_4H_8$  — газы; с  $C_5H_{10}$  до  $C_{17}H_{34}$  — жидкости, после  $C_{18}H_{36}$  — твёрдые тела.

Приведем спектр поглощения некоторого из алкенов [8]:

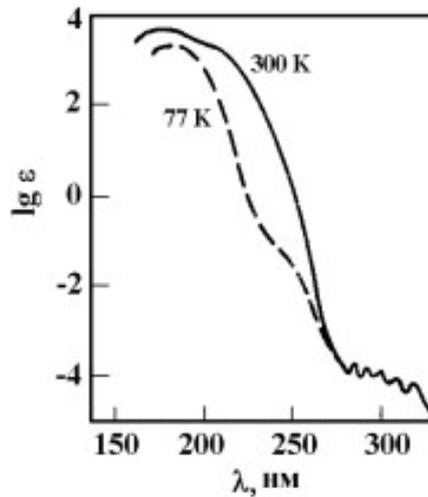


Рисунок 2 – Спектр поглощения этилена  $C_2H_4$  в ультрафиолетовой области

Спектр испускания является зеркальным отражением спектра поглощения.

### 1.3 Алкины

Алкины, также могут называться ацетиленовыми углеводородами — углеводороды, которые содержат тройную связь между атомами углерода. Имеют гомологический ряд с общей формулой  $C_nH_{2n-2}$ . Алкины по своим физическим свойствам напоминают соответствующие алкены.

Приведем спектр поглощения некоторого из алкинов [8]:

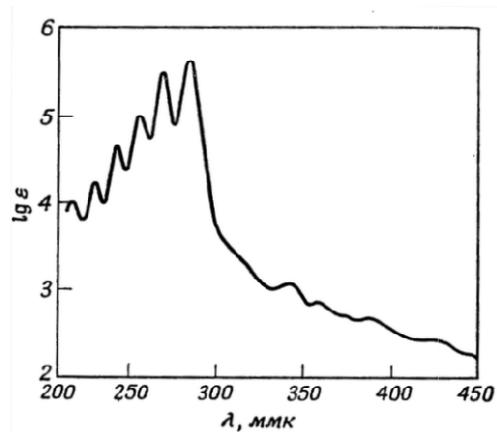


Рисунок 3 – Спектр поглощения диметилгексаацетилен  $\text{CH}_3(\text{C}=\text{C})_6\text{CH}_3$  в ультрафиолетовой области

Спектр испускания является зеркальным отражением спектра поглощения.

#### 1.4 Алкадиены

Алкадиены, или просто диены — класс углеводородов, который содержит две двойных связи углерод-углерод. Имеют общую формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ .

Бутадиен и аллен — газы, низшие диены — бесцветные легкокипящие жидкости

Приведем спектр поглощения некоторых из алкадиенов [8]:

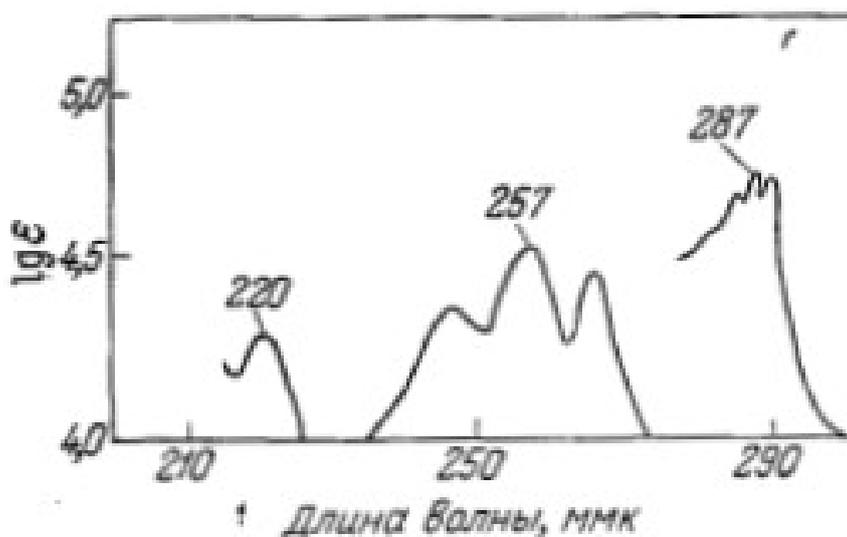


Рисунок 4 – Спектр поглощения бутадиена  $\text{C}_4\text{H}_6$ (220), гексатриена  $\text{C}_6\text{H}_{10}$ (257) и октатетраена (287) в ультрафиолетовой области

#### 1.5 Циклоалканы

Циклоалканы, или же полиметиленовые углеводороды, нафтены, цикланы и циклопарафины — циклические насыщенные

углеводороды, которые по химическим свойствам близки к предельным углеводородам. Имеют общую формулу гомологического ряда  $C_nH_{2n}$ .

С  $C_3H_6$  до  $C_4H_8$  — газы; с  $C_5H_{10}$  до  $C_{16}H_{32}$  — жидкости; после  $C_{17}H_{34}$  — твёрдые тела.

Приведем спектр поглощения некоторого из циклоалканов[8]:

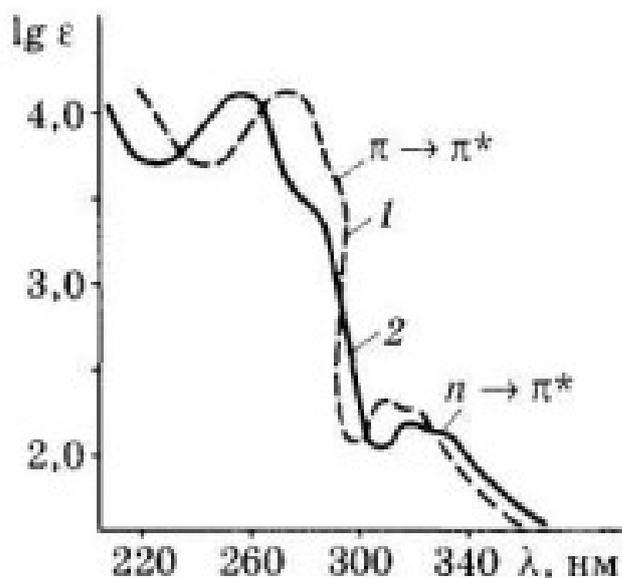


Рисунок 5 – Спектр поглощения циклогексана  $C_6H_{12}$  в ультрафиолетовой области

## 1.6 Арены

Ароматические соединения (арены) — циклические органические соединения, которые имеют в своём составе ароматическую систему. Они имеют основное отличительное свойство - это повышенная устойчивость ароматической системы и, несмотря на их ненасыщенность, они имеют склонность к реакциям замещения, а не присоединения. Гомологический ряд бензола отвечает общей формуле  $C_6H_{2n-6}$ .

Все ароматические соединения имеют высокий показатель преломления и поглощения в близкой УФ и видимой области спектра.

Приведем спектры поглощения и испускания некоторых из аренов[8]:

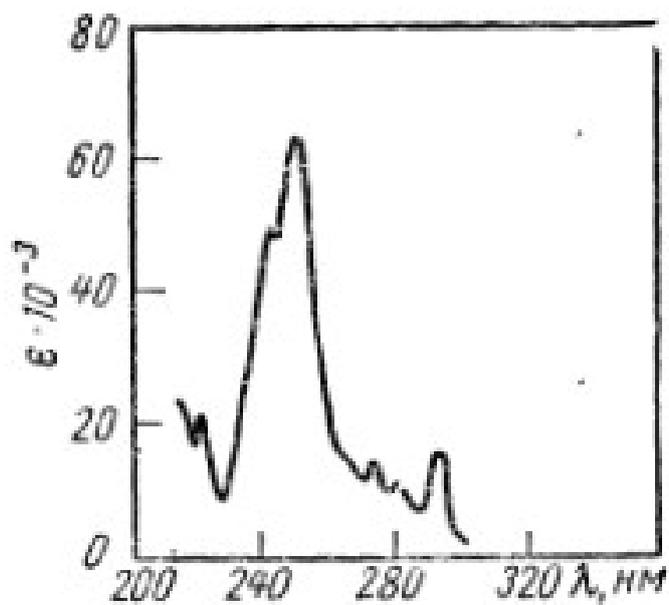


Рисунок 6 – Спектр поглощения фенантрена  $C_{14}H_{10}$  в ультрафиолетовой области

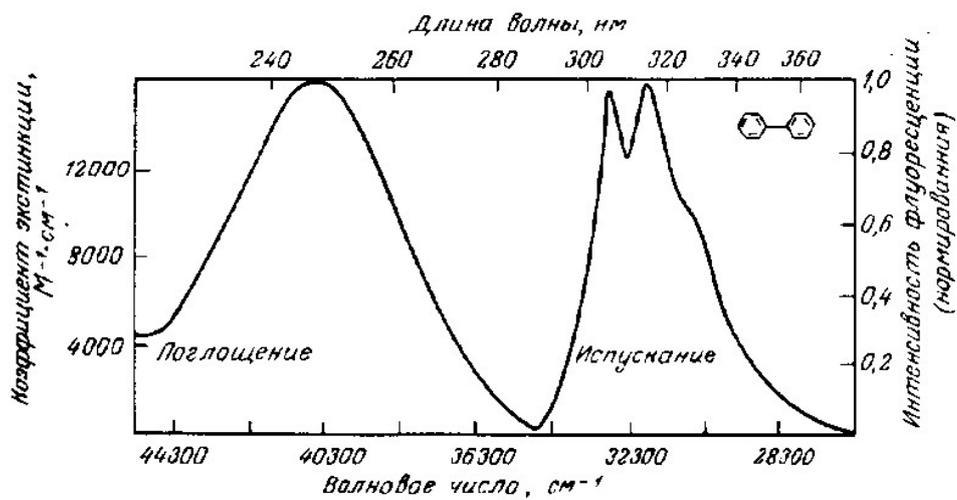


Рисунок 7 – Спектр поглощения и испускания дифенила  $C_{12}H_{10}$  в ультрафиолетовой области

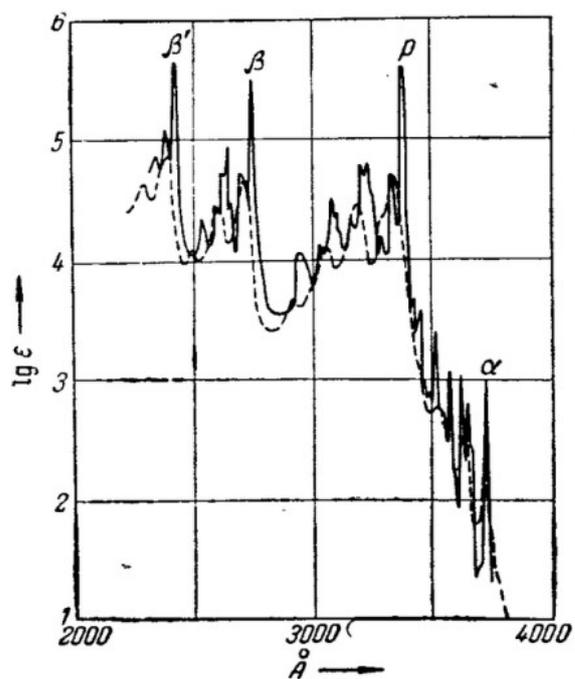


Рисунок 8 – Спектр поглощения пирена  $C_{16}H_{10}$  в ультрафиолетовой области

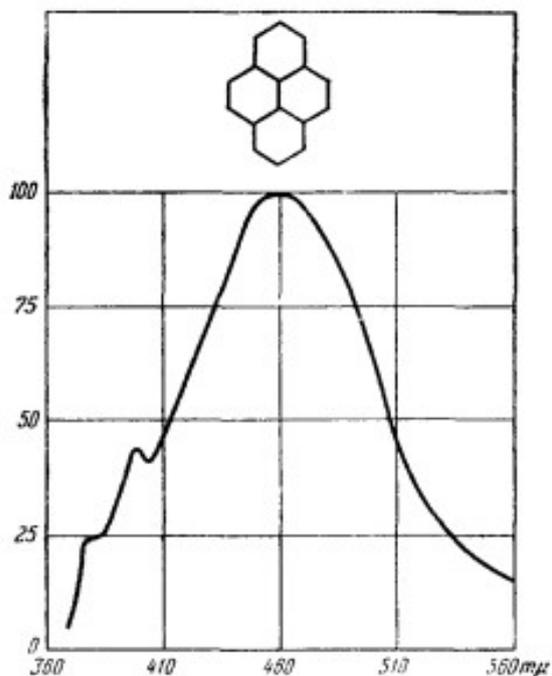


Рисунок 9 – Спектр испускания пирена  $C_{16}H_{10}$  в ультрафиолетовой области.

При рассмотрении различных экспериментов было выявлено, что флуоресценция чистых углеводородов происходит в диапазоне от 300 до 450 нм. На рисунке 10 представлены спектры флуоресценции различных чистых нефтепродуктов [9].

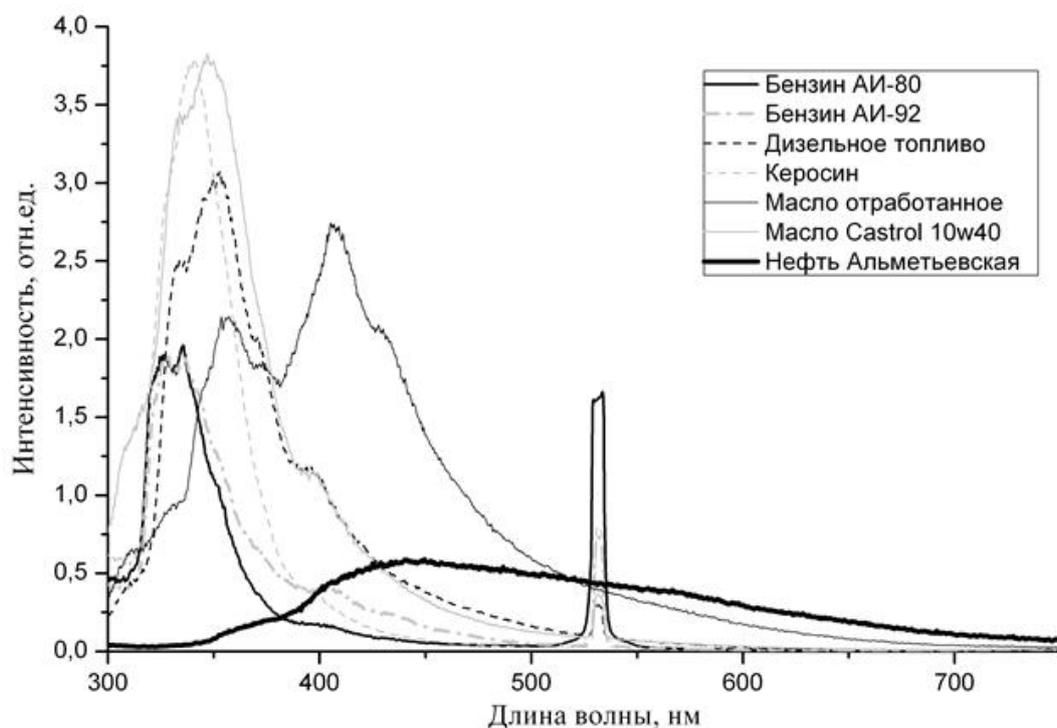


Рисунок 10 - Спектры флуоресценции чистых нефтепродуктов

Во время мониторинга загрязнений вод нефтепродуктами также предусмотрено наблюдение за их изменениями в окружающей среде. Был сделан вывод, что при модельном загрязнении вод растворяются прежде всего ароматические углеводороды и НП. Т.к. соединения этой группы обуславливают флуоресценцию нефти [10].

### **Выводы:**

Итак, для обнаружения разливов нефти в акваториях с использованием флуоресцентного лидара необходимо знать на какой длине волны происходит возбуждение флуоресценции углеводородов.

Проанализированы оптические свойства разных типов углеводов.

Выявлено, что каналы обнаружения расположены на длинах волн от 200 до 600 нм. А именно, что максимумы поглощения углеводов находятся в диапазоне 150 – 300 нм, а максимумы испускания находятся в диапазоне 300 – 650 нм.

## 2 Методы оптического контроля углеводов

Оптический контроль основан на анализе взаимодействия оптического излучения с исследуемым объектом. Применяют для контроля формы, размера и качества поверхности объекта, его однородности, цветности, наличия остаточных напряжений, а также для исследования структуры органических и неорганических веществ, состояния химических и биологических систем, спектрального анализа веществ, источников света и пр.

Оптический контроль осуществляется визуально и с применением увеличительных стёкол, микроскопов, компараторов, телескопов, фото- и видеоаппаратуры, эндоскопов и др. специализированных приборов, работающих в УФ-, видимом и ИК-диапазонах волн. [11].

Одни из наиболее популярных методов контроля являются:

- Абсорбционные
- Флуорисцентные
- Отражение ИК-рассеяния

### 2.1 Абсорбционный метод

Атомно абсорбционный спектрометр – устройство для элементного анализа веществ. Для выполнения процедуры используются жидкие пробы разного происхождения. Это прецизионное устройство для создания условий измерений, с автовведением проб, проведения их анализа и регистрации результатов.

Атомно-абсорбционная спектрометрия основана на элементноколичественном анализе атомного спектра поглощения. Суть метода проста: элементы в состоянии атомов поглощают волну света определенной длины, переходя при этом в возбужденное состояние. Количество световой энергии поглощения пропорционально количеству атомов анализируемого вещества на пути излучения.

Проведение спектрометрического анализа методом атомной абсорбции требует использования автоматизированной техники. Устройство спектрометра включает в себя несколько элементов. Основные элементы прибора: источник света (лампы), атомизатор, монохроматор и детектор. Прибор управляется от компьютера.

Назначение атомизатора – перевод жидкой вещественной пробы в атомный пар. На практике применяют оборудование, работающее при помощи пламенного или электротермического метода.

Спектрометрия атомно-абсорбционного метода используется только для анализа жидких веществ. Работа спектрометра основана на измерении уровня поглощения резонансного светового луча от источника, который проходит через созданный атомный пар раствора анализируемого вещества.

Для того, чтобы преобразовать пробный раствор вещества в атомарный пар, нужен атомизатор. После прохождения паров луч перенаправляется в монохроматор, после него он переходит на приемник, где регистрируется уровень излучения.

Недостатки:

Невозможность выявления нескольких элементов при проведении анализа, а также необходимость перевода пробных веществ в раствор [12].

## 2.2 Флуоресцентный метод

Явление флуоресценции называется свойством, благодаря которому возбужденные молекулы вещества испускают свет под воздействием электромагнитного излучения.

Данный метод основан на применении монохроматического излучения для возбуждения атомов или молекул определяемых компонентов и измерении интенсивности флуоресценции, являющейся функцией содержания определяемого компонента газовой смеси.

При облучении пробы газа, содержащего диоксид серы, ультрафиолетовым светом (214 нм) молекулы SO<sub>2</sub> переходят из возбужденного в нормальное состояние, разряжаясь частично на флуоресценцию. В данном случае максимум интенсивности флуоресценции будет лежать в области волн 350 нм. Затем, интенсивность излучения, пропорциональная содержанию диоксида серы, регистрируется фотоумножителем.

Для возбуждения флуоресценции применяются различные типы лазеров, такие как импульсный и непрерывный, твердотельный, газоразрядный или на растворах красителей, а также ртутные лампы. Для выделения аналитического спектра используются монохроматоры и интерференционные фильтры [13].

Недостатки:

При флуоресцентном методе анализа важное значение имеет состав анализируемой смеси, так как влага и неизмеряемые компоненты, находящиеся в ней, тушат флуоресценцию. Ноувы, такие газоанализаторы обладают значительными погрешностями. А точность измерения флуоресцентных газоанализаторов во многом зависит от точности и периодичности их калибровки. Также уменьшить эту чувствительность можно при помощи установки перед ФЭУ дополнительного оптического фильтра, не пропускающего спектральную область флуоресценции окиси азота.

### 2.3 Отражение ИК-рассеяния

Метода обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, который позволяет надежно обнаруживать тонкие пленки нефтепродуктов. Метод основан на определении второй производной (по длине волны излучения) коэффициента отражения системы “воздух–пленка

нефтепродукта–вода”, и для его реализации может быть использован один перестраиваемый по длине волны в узком спектральном диапазоне лазер ближнего или среднего ИК диапазона спектра. Пусть узкий пучок ИК-излучения направляется на водную поверхность вертикально вниз. При измерениях в ближней зоне зондирования мощность  $P_{\Pi}$  регистрируемого приемником сигнала (от блика на водной поверхности) можно записать в виде [14, 15]:

$$P_{\Pi} = P_0 \cdot R_{\text{ref}}(\lambda) \quad (5)$$

, где  $P_0$  — мощность, излучаемая источником;  $R_{\text{ref}}(\lambda)$  — коэффициент отражения поверхности;  $\lambda$  — длина волны зондирующего излучения.

В случае присутствия на водной поверхности нефтяных загрязнений коэффициент отражения  $R_{\text{ref}}(\lambda)$  будет зависеть от толщины нефтяной пленки  $d$ , оптических характеристик нефти и длины волны излучения  $\lambda$ . При вертикальном падении излучения на поверхность для коэффициента отражения трехслойной системы “воздух–пленка нефтепродукта–вода”  $R_{\text{ref}}(\lambda, d)$  имеем [16, 17]:

$$R_{\text{ref}}(\lambda, d) \cong \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 \cdot T^2(\lambda) + 2r_{12}r_{23}T(\lambda)\cos 2(\lambda, d)}{1 + r_{12}^2 + r_{23}^2 \cdot T^2(\lambda) + 2r_{12}r_{23}T(\lambda)\cos 2\beta(\lambda, d)} \quad (6)$$

$$\text{, где } T(\lambda) = \exp\left(-\frac{4\pi k_2(\lambda)d}{\lambda}\right); r_{12} = -\sqrt{\frac{(1-n_2(\lambda))^2 + k_2^2(\lambda)}{(1+n_2(\lambda))^2 + k_2^2(\lambda)}}$$

$$r_{23} = \sqrt{\frac{(n_2(\lambda)-n_3(\lambda))^2 + (k_2(\lambda)-k_3(\lambda))^2}{(n_2(\lambda)+n_3(\lambda))^2 + (k_2(\lambda)+k_3(\lambda))^2}}; \beta(\lambda, d) = \frac{2\pi d}{\lambda} n_2(\lambda);$$

$n_{2,3}(\lambda), k_{2,3}(\lambda)$  — показатели преломления и поглощения нефти и воды;  $r_{12}^2, r_{23}^2$  — коэффициенты отражения на границе сред “воздух–нефть” и “нефть–вода”;  $T(\lambda)$  — коэффициент пропускания пленки нефти.

Индексы 1, 2, 3 относятся к воздуху, нефти и воде соответственно (для воздуха показатель преломления принят равным единице, а показатель поглощения — нулю).

Из формулы (2) следует, что в общем случае из-за интерференции излучения, отраженного от границ раздела “воздух–пленка нефтепродукта” и “пленка нефтепродукта - вода”, коэффициент отражения  $R_{\text{ref}}(\lambda, d)$  является периодической функцией длины волны излучения  $\lambda$  и толщины пленки  $d$ .

Для чистой водной поверхности (при отсутствии нефтяных загрязнений) коэффициент отражения определяется характеристиками водной среды:

$$R_{\text{ref}}(\lambda, d) \cong r_{13}^2 (7)$$

, где  $r_{13} = \sqrt{\frac{(1-n_3(\lambda))^2+k_3^2(\lambda)}{(1+n_3(\lambda))^2+k_3^2(\lambda)}}$ ;  $r_{13}^2$  — коэффициент отражения на границе сред “воздух - вода”.

Для толстых пленок нефтепродуктов (для которых  $T(\lambda) \approx 0$ ) периодическая зависимость коэффициента отражения от  $\lambda$  и  $d$  исчезает и коэффициент отражения  $R_{\text{ref}}(\lambda)$  равен коэффициенту отражения на границе сред “воздух–нефть”:

$$R_{\text{ref}}(\lambda, d) \cong r_{12}^2 (8)$$

Толстые пленки нефтепродуктов толщиной десятки и сотни микрометров легко обнаруживаются как в видимом, так и в ближнем и среднем ИК-диапазонах из-за сильного различия коэффициентов отражения на границах сред “воздух–нефть” и “воздух–вода”. Например, для длины волны 0,65мкм коэффициент отражения  $r_{12}^2 \cong 0,038$ , что почти в 2 раза больше величины  $r_{13}^2 \cong 0,02$ .

При толщине пленок, равной десятым долям и единицам микрометров, периодическая зависимость величины  $R_{\text{ref}}(\lambda, d)$  от длины волны излучения  $\lambda$  и толщины пленки  $d$  очень существенна. Поэтому для тонких пленок возможны ситуации (в условиях шумов измерения), когда коэффициент

отражения трехслойной системы “воздух – пленканефтепродукта - вода”  $R_{\text{ref}}(\lambda, d)$  оказывается (в точках минимума  $R_{\text{ref}}(\lambda, d)$ ) примерно равен и даже меньше коэффициента отражения на границе сред “воздух - вода”  $r_{13}^2$ . Это практически не позволяет проводить надежное обнаружение (с высокой вероятностью правильного обнаружения) тонких пленок нефти на водной поверхности при единичных измерениях и существенно ухудшает вероятность правильного обнаружения при усреднении по серии измерений.

Для повышения вероятности правильного обнаружения тонких пленок нефти на водной поверхности необходимо привлекать дополнительную информацию из данных измерений, например, использовать результаты измерения производных (по длине волны излучения) коэффициента отражения системы “воздух - пленка нефтепродукта - вода”. Формулы для производных (по длине волны излучения) коэффициента отражения  $R_{\text{ref}}(\lambda)$  в общем случае имеют очень громоздкий вид.

Таким образом, для обнаружения пленок нефтепродуктов на водной поверхности необходимо:

- 1) провести измерение коэффициента отражения системы “воздух - пленка нефтепродукта - вода”;
- 2) определить его вторую производную и сравнить их значения с пороговыми значениями, благодаря использованию перестраиваемого по длине волны в узком диапазоне лазер ближнего или среднего ИК-диапазона спектра.

Пороговое значение  $[R_{\text{ref}}(\lambda, d)]$  определяется коэффициентом отражения на границе сред “воздух - вода”  $r_{13}^2$  и шумом измерительной аппаратуры. Оно выбирается из условия максимума вероятности правильного обнаружения  $P_{\text{п.о}}$  пленок нефти на водной поверхности (вероятности принятия решения о наличии нефтяных пленок в случае их действительного присутствия на водной поверхности) при приемлемом значении вероятности ложных тревог

$P_{л.т}$  (вероятности принятия решения о наличии нефтяных пленок в случае, когда на водной поверхности их нет).

Недостатки:

Небольшая надежность обнаружения тонких пленок нефтепродуктов. А также в реальных условиях зависит от очень многих факторов: шумов, измерительной аппаратуры, процедур первичной обработки данных измерений, алгоритма вычисления производных по данным измерений, процедур сглаживания или усреднения вычисленных значений производных, длины волны излучения, толщины измеряемой пленки и т.п. Поэтому найти оптимальное значение трудно[18].

**Вывод:**Метод флуоресценции имеет несомненные преимущества по сравнению с другими дистанционными методами определения состава углеводородов в водных акваториях:

- сечение флуоресценции значительно выше сечения комбинационного рассеяния, поэтому данный метод более чувствителен;
- высокая селективность, которая обусловлена простотой спектров флуоресценции и поэтому отсутствием наложения спектральных линий различных элементов;
- сравнительно низкий уровень фона;
- малые спектральные помехи, что позволяет детектировать слабые аналитические сигналы.

Также хотелось бы упомянуть, что технология лазерной индуцированной флуоресценции (LIF) широко применяется для дистанционного зондирования морской среды. В особенности использование флуоресцентного анализа в качестве контроля нефтяных загрязнений на водной поверхности.

Исходя из выше сказанного, было решено выбрать флуоресцентный метод зондирования.

### 3 Оптические системы контроля углеводов

В настоящее время известен широкий спектр аппаратуры для анализа углеводов в воде, основанных на методе флуоресценции. Самые основные, которые можно выделить это:

- Погружной флуориметр
- Лидарные системы

#### 3.1 Погружной флуориметр

Анализатор полициклических ароматических углеводов в воде, предназначен для измерений массовой концентрации полициклических ароматических углеводов (ПАУ) в природных, питьевых, производственных и сточных водах по принципу УФ-флуоресценции. Анализатор способен измерять ПАУ, ароматические углеводороды, а также нефтепродукты, как суммарно, так и по отдельности. Такой пересчет осуществляется по корреляционному коэффициенту (множителю), который вычисляется в аналитической лаборатории экспериментальным путем.

ПАУ содержат в своих молекулах два или более ароматических (бензольных) кольца, расположенных в различных конфигурациях. Бензол содержит шесть атомов углерода, и три двойные связи, которые “уязвимы”. Электроны, образующие двойную связь, “летают” по кольцу. Благодаря этому эффекту, если молекулу ПАУ “возбудить” светом, то в результате электроны начнут испускать энергию флуоресценции, возвращаясь в исходное энергетическое состояние.

Для непрерывного он-лайн мониторинга необходим анализатор, способный определять ПАУ флуориметрическим методом, как наиболее чувствительным к таким молекулам. Данный принцип измерения основан на

свойстве веществ излучать свет большей длины волны, при поглощении световой энергии определённой длины волны. Интенсивность излучения, которая была вызвана явлением флуоресценции, измеряют при длине волны 360 нм.

Стоит обратить внимание на тот факт, что каждый ПАУ имеет собственную энергию возбуждения и излучения. Основные причины этого эффекта заключаются в том, что различные ПАУ имеют разную растворимость в воде, а, следовательно, способность к флуоресценции каждого из них различная. Кроме того, в большинстве случаев, отбираемая проба содержит смесь различных ПАУ.

Анализаторы учитывают все эти особенности определения ПАУ и нефтепродуктов в целом, и способны работать в довольно “жёстких” условиях, позволяя выдавать данные в режиме реального времени о количественном составе анализируемых компонентов. Анализаторы имеют два аналоговых выхода 0-5 В постоянного тока и 4-20 мА, с помощью которых они могут подключаться к любым программируемым логическим контроллерам и регистраторам данных. Анализаторы оснащены интерфейсом и могут также работать совместно с контрольно-измерительными приборами. Все установочные данные, включая параметры текущих калибровки настроек, хранятся в памяти анализаторов.

Анализаторы оснащены насадкой для продувки сжатым воздухом линзы с целью очистки. При помощи специального нанопокртия на оптическом стекле, а также в комбинации с системой очистки сжатым воздухом происходит защита от загрязнений масляными плёнками и зарастания микроорганизмами. Анализаторы могут работать на глубине до 500 метров (имеется возможность конструктивного исполнения из титана для использования на глубинах погружения до 6 км) [19].

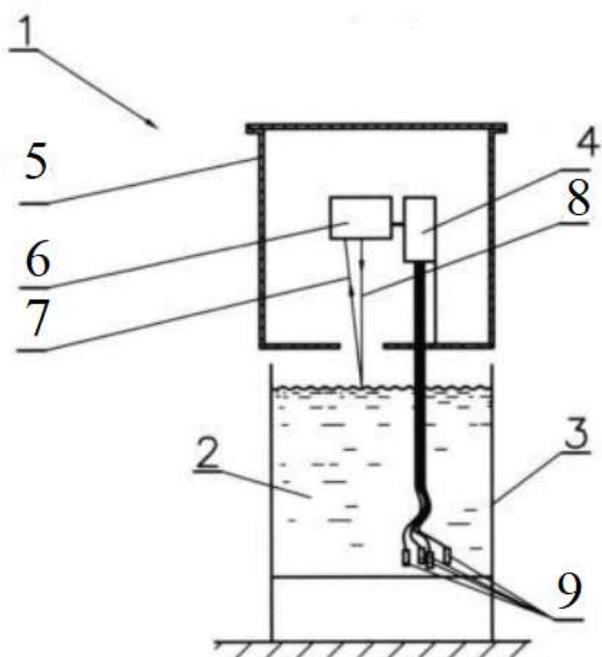


Рисунок 11 –а - принцип действия флуориметра, б – фотография флуориметра

В вариантах реализации изобретения кювета 3 может быть выполнена с непрерывным потоком пробы воды 2. Для этого она выполняется герметичной, имеющей по меньшей мере часть, прозрачную для зондирующего излучения дистанционного детектора нефтяных загрязнений и регистрируемого им обратного излучения.

Комплекс обнаружения нефтяных загрязнений предпочтительно содержит дистанционный детектор 6 нефтяных загрязнений, например, в виде компактного флуоресцентного лидара и/или ИК-лидара, зондирующего поверхность воды в кювете лучом и регистрирующего сигнал обратного излучения. Это обеспечивает автономную долгосрочную стабильную работу КМ, практически не требующую обслуживания, в том числе, благодаря использованию не подверженного загрязнению дистанционного датчика в виде флуоресцентного лидара и/или ИК-лидара [20].

Главный недостаток проточных флуориметров состоит в том, что из-за значительной длины впускного шланга регистрируемое распределение

флюоресценции оказывается сглаженным по сравнению с истинным. Оценки подобных искажений показали, что даже при длине впускного шланга 10-15 м записи утрачивают детали распределений протяженностью в несколько метров [21].

### 3.2. Лидарные системы

Лазерное дистанционное зондирование - эффективный, проверенный инструмент, способный получать количественные, пространственно разрешенные данные в реальном времени о химическом загрязнении, эвтрофикации, биомассе и гидрографии над большой водой. Часто является единственным решением для многих экологических морских приложений.

Различные типы обнаружения света и дальномерные системы (LIDAR) используют лазерно-индуцированную флуоресценцию (LIF) и обратное рассеяние света для дистанционного анализа водоемов. Лидары устанавливаются в качестве полезной нагрузки на бортовых, судовых или стационарных платформах для оперативных целей и научных исследований.

Кроме того, LIDAR предоставляет подробную аналитическую информацию о типе химического загрязнения. Технология может быть одинаково эффективной при обнаружении различных водных объектов, такие как промышленные отходы, затонувшие грузы, трубопроводы и т. д.

LIF LIDAR основан на обнаружении и анализе спектров, индуцированная в объекте-мишени при освещении монохроматическим лазерным излучением (рисунок 12). Вторичная эмиссия обнаруженного объекта создает эхосигнал лазерного дистанционного зондирования как композит рассеяния света и реакции LIF отдельных соединений, присутствующих в воде.

Этот сигнал, собранный приемным телескопом и записанный спектральным детектором, анализируется. Этот метод был введен Клишко иФадеевым в 1978 году и Хоге и Свифт в 1981 году[22] .

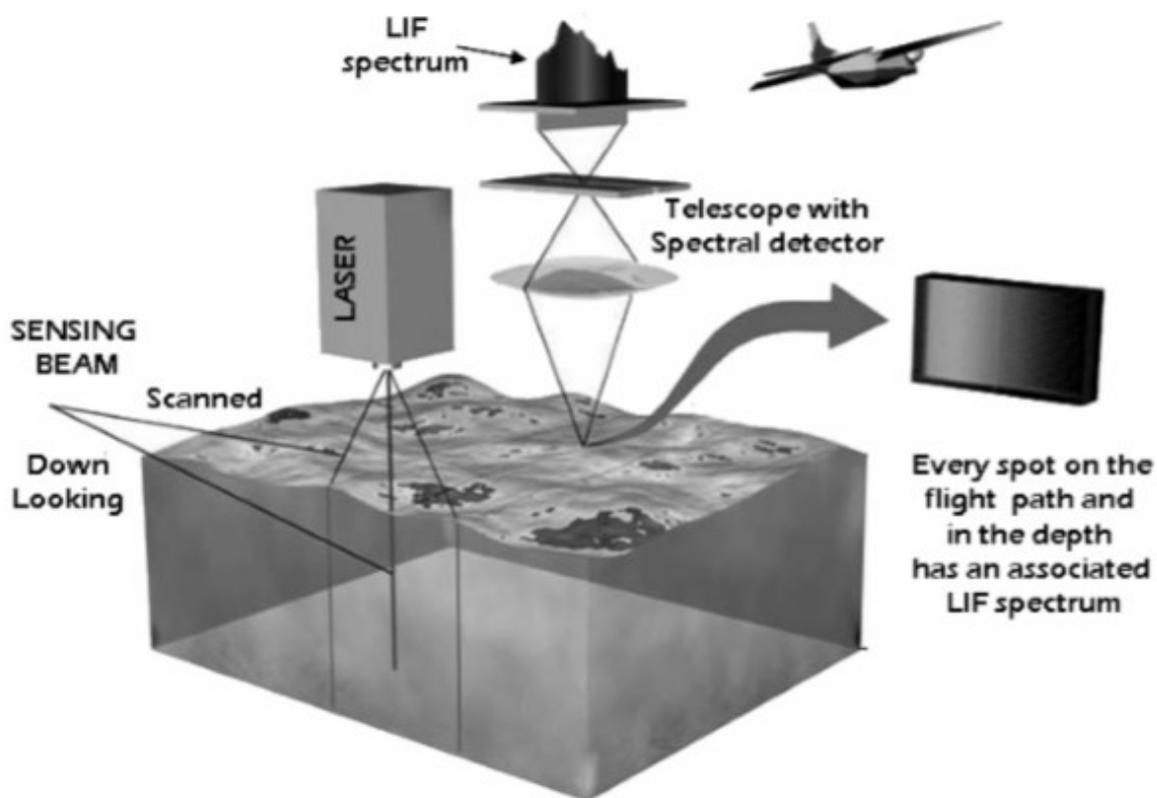


Рисунок 12 - Схема работы LIF LIDAR

На рисунке 13 можно рассмотреть основные элементы современных лидарных систем для контроля водных пространств на основе метода флуоресценции.

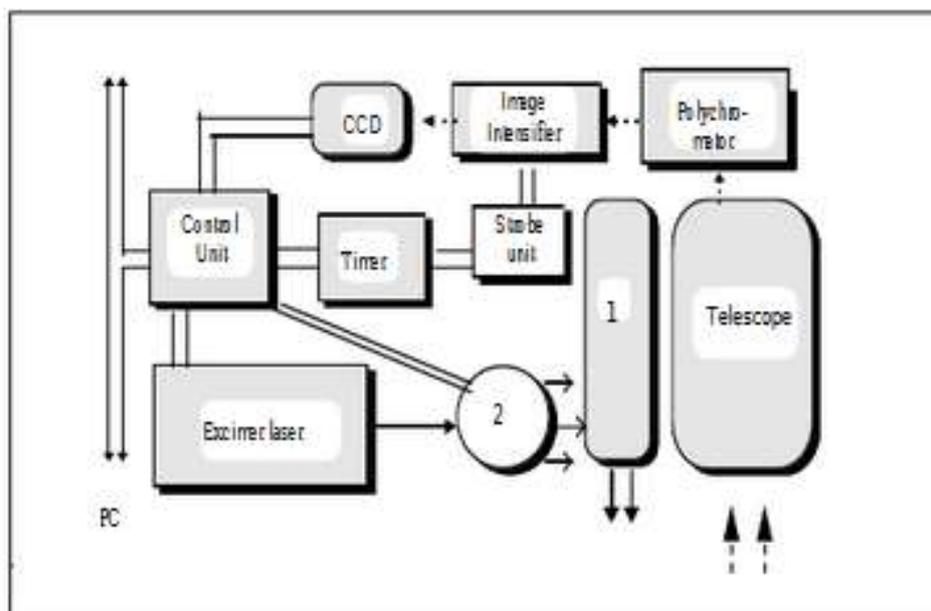


Рисунок 13 - Блок-схема FLS: 1-лучевой расширитель (для бортовое применение), 2 - многоволновая единица

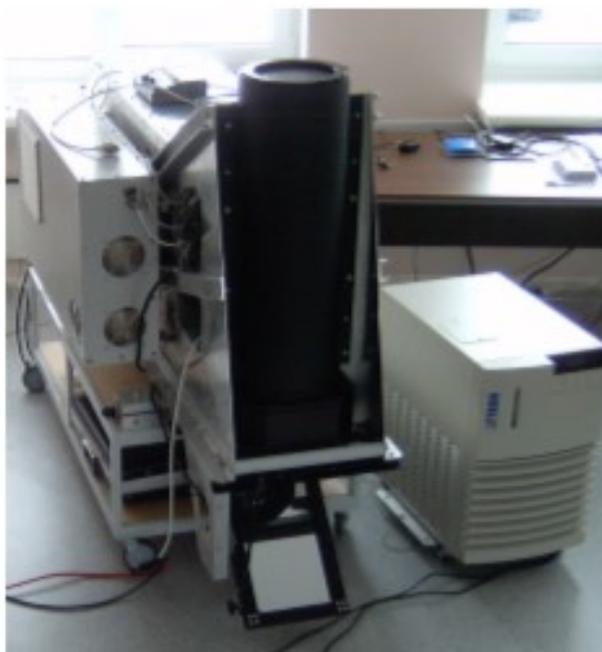
Как уже было сказано ранее, LIFLIDARобычно по виду использования подразделяются на судовые FLS-AMи бортовые (самолетные)FLS-AU[23].

Таблица 1 – Сравнительная таблица параметров FLS-AU и FLS-AM

	FLS-AU	FLS-AM
Расстояние восприятия	50 - 300 м	50 - 500 м
Режим работы	Смотрящий вниз	Сканирование по траектории полета Ширина отсканированного изображения: 1/5 высоты
Лазерный источник	Эксимер, 308 нм, 90 мДж / 20 Гц	Эксимер, 308 нм, 150 мДж / 150 Гц Лазер на красителе, 360 нм, 460 нм
Тип детектора	Закрытыйгиперспектральный, 500 каналов	

Спектральный диапазон	300 - 550 нм	Перестраиваемое спектральное окно 250 нм
Потребляемая мощность	1,2 кВА, 28 DC	6 кВА, 28 DC
Размеры (Д × Ш × В)	1569 × 614 × 795 мм 3	1660 × 685 × 1004 мм 3
Полный вес системы	180 кг	375 кг

Лидар FLS-AU был построен как воздушно-капельная система с отдельным расширителем луча и приемный телескоп. Расширитель УФ-луча используется для уменьшения расходимости и выполнения требования к безопасности глаз. При максимальной частоте повторения импульсов 20 Гц лидар FLS-AU обеспечивает типичное пространственное разрешение земли 6 м (при скорости полета 200 км / ч). Умеренный вес позволяет эксплуатировать систему на борту небольших самолетов на высоте до 300 м.



#### Рисунок 14 -Лидар FLS-AM.

Лидар FLS-AM был построен как бортовая система с самоконтролем и сканированием. Настроенный телескоп, служит одновременно передающей и приемной системой. Эксимерный лазер повышенной прочности (150 мДж / 150 Гц) служит источником чувствительности. Сканированные лазерные лучи по траектории полета позволяют наблюдать коридор на уровне земли на ширине 20% высоты полета. Лидар имеет встроенную систему нацеливания видеокамер. Имеет два видео выхода, один на экран пилота для наведения на летательный аппарат и еще один для хранения видеокадров. Полный лидарный контроль обеспечивается встроенным микроконтроллером в соответствии с настройкой работы. Спектры LIF, сопровождаемые положением GPS и видеокадром, сохраняются в базе.

Система LIDAR с многоволновой лазерно-индуцированной флуоресценцией (LIF), которая может быть использована круглосуточно для обнаружения разливов нефти в морской среде[24] .

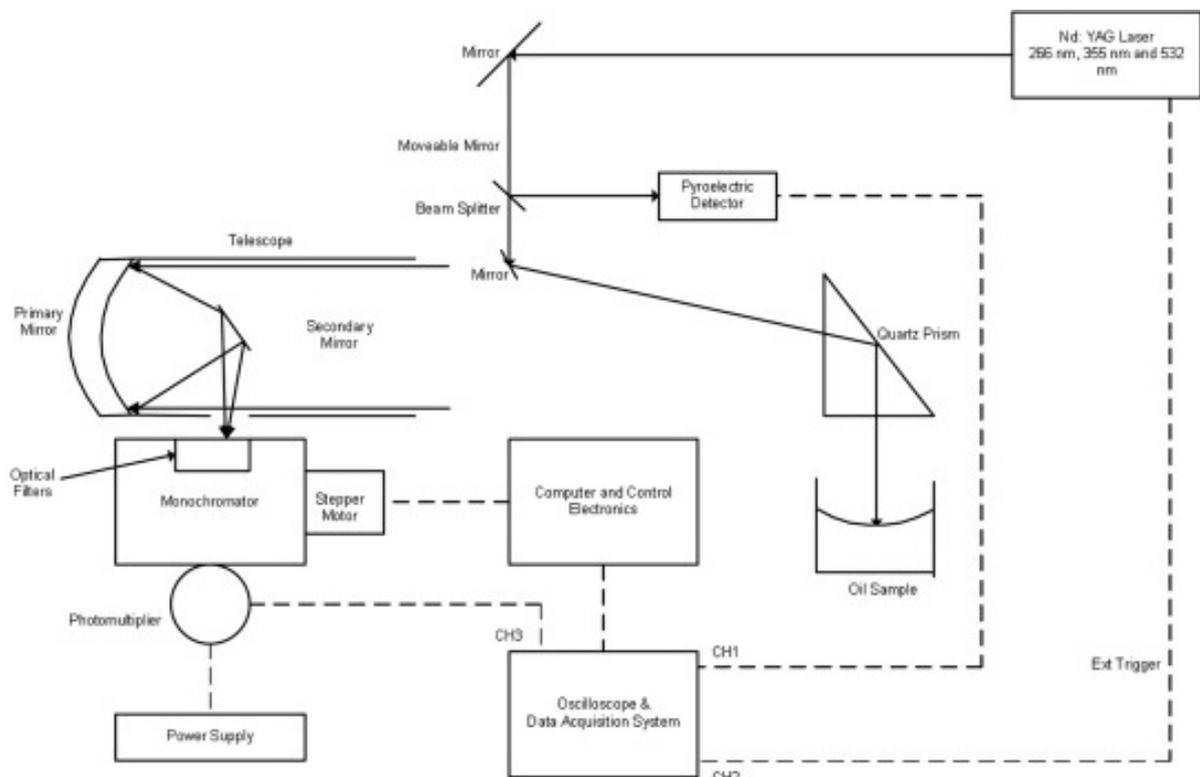


Рисунок 15 – Блок-схема, показывающая многоволновую (266 нм, 355 нм и 532 нм) схему Nd: YAG лазерной флуоресцентной системы LIDAR.

Измерительная система Nd: YAG LIF LIDAR можно разбить на пять основных частей:

1. Импульсный лазер Nd: YAG, работающий при 266 нм (10 мДж / импульс; 3–4 нс ширины импульса FWHM), 355 нм (20 мДж / импульс; 2–3 нс ширины импульса FWHM) и 532 нм (40 мДж / импульс; импульс 1–2 нс FWHM ширина);
2. Ньютоновский телескоп (диаметр прозрачной диафрагмы = 114,0 мм; фокусное расстояние = 450 мм);
3. Моторизованный монохроматор;
4. Фото – система обнаружения умножителей (время нарастания ~ 1 нс);
5. Система сбора данных.

Длины волн 266, 355 и 532 нм были получены путем пропускания основной волны Nd: YAG-лазера 1,06 мкм через два кристалла KD \* P. Сгенерированные вторая (532 нм), третья (355 нм) и четвертая (266 нм) гармоники были разделены с использованием призмы Пеллина-Брока (выбирается вручную с помощью набора призм). Два кристалла KD \* P были помещены в нагретый корпус для стабилизировать выходную мощность лазера, вызванную изменениями температуры окружающей среды, и минимизировать нежелательные оптические эффекты, вызванные кристаллами впитывание воды. Вручную выбранная длина волны лазера была направлена с помощью двух дихроичных зеркал и кварцевую прямоугольную призму с масляной пленкой 1000 мкм, сформированная на вершине колонны с отфильтрованной морской водой, расположенной примерно в 25 м от лазера передатчик и коллекционный телескоп. Центр призмы был выровнен с оптической осью телескопа. Обнаружение спектрального диапазона длин волн возбуждения:

- 266 нм составляют от 360 нм до 620 нм;
- 355 нм составляют от 400 нм до 660 нм;
- 532 нм составляют от 550 нм до 810 нм.

Каждый спектральный диапазон обнаружения состоит из 14 каналов с длиной волны, разнесенных на 20 нм. Колебания энергии выбранной длины волны возбуждения контролировали в течение цикла измерения с использованием пироэлектрического детектора (Molelectron, модель J3). Выход пироэлектрического детектора подавался в интеграторную схему, которая была сопряжена с системой сбора данных.

Измерения, собранные с использованием пироэлектрического детектора, использовались для корректировки измерений флуоресценции излучения.

Флуоресцентные сигналы собирались с помощью ньютоновского телескопа, выход которого был сфокусирован на входной

щелимоторизованного монохроматора (BauschandLomb, FL / 3,5, FL = 250 мм). Движение двигателя монохроматора контролировалось с помощью панелей управления, размещенная внутри компьютера. Кроме того, отсечной фильтр был помещен за входной щелью монохроматора, чтобы заблокировать рассеянное лазерное излучение от попадания на фотоумножитель (Hamamatsu R955). Кварцевый стержень (диаметром 0,6 см), используется для направления света и соединения выхода монохроматора с фотоумножителем. Схема фотоумножителя время нарастания  $\sim 1$  нс и усиление цепи  $\sim 10^6$ . Выходной сигнал фотоумножителя, который работает в аналоговом режиме, подается в оцифровочный осциллограф, который управляется через интерфейс IEEE 488. Получение сигнала осциллографа синхронизируется со стрельбой лазера через лазерный внешний триггерный порт.

Спектральный отклик системы измерения измеряли с использованием вольфрамовой калибровочной лампы (OptronicLaboratory, Inc., Model245C) и собранные измерения спектрального масла были скорректированы на спектральный отклик оптической системы[25].

### **Выводы:**

Основным недостатком лидаров, основанных на методе комбинационного рассеяния является невысокая чувствительность при больших дальностях. Это обусловлено тем, что поперечное сечение КР на три порядка меньше рэлеевского.

Следовательно, необходимы лазеры с высокой мощностью излучения в более коротковолновом диапазоне длин воли.

В связи с этим, в качестве базовой схемы для разработки и модернизации конструкции лидара для контроля углеводородов была

выбрана блок-схема флуоресцентного лидарапредставленная на рисунке 15.

#### 4 Расчет оптической схемы лидара

Проведенный в разделах 1-3 литературный анализ позволил предложить развитую оптическую схема лидара представленную на рисунке 16.

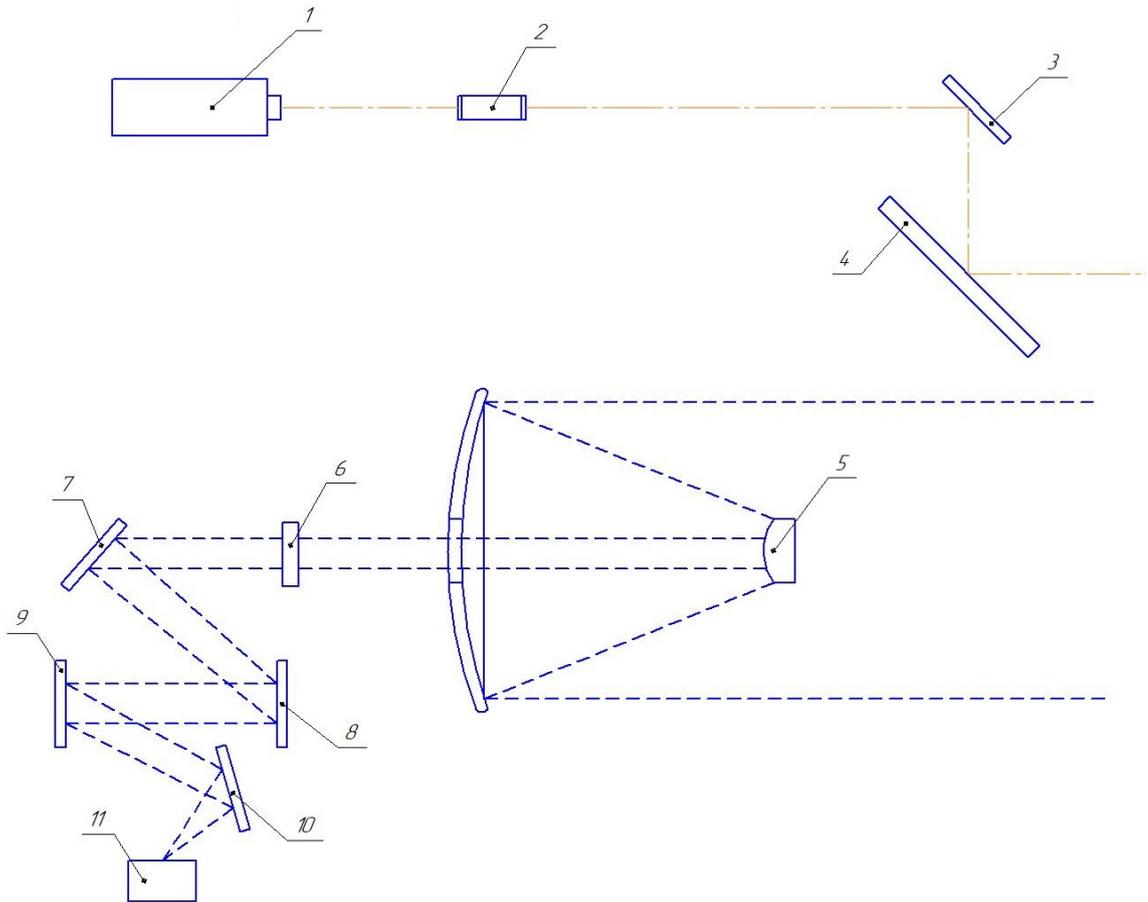


Рисунок 16 – Предложенная оптическая схема флуоресцентного лидара: 1- Лазерный излучатель, 2 – коллиматор, 3 – плоское зеркало, 4 – сканатор, 5 – телескоп, 6 – фильтр, 7 и 10 – дифракционные решетки полихроматора, 8 и 9 – плоские зеркала полихроматора, 11 – 16ти канальный ФЭУ.

Существуют особые требования к расчету оптической системы установки, где любая некорректность в определении параметров оптических элементов может привести к существенному увеличению собственных

потерь системы. Поэтому, необходимо провести численный оптический расчет.

#### 4.1 Оценка мощности обратного сигнала

В общем случае любая модель лидара строится на основании лидарного уравнения, которое связывает в себе пространственные изменения оптических параметров атмосферы на трассе зондирования и мощность рассеянного обратно излучения. Такое уравнение в случае однократного рассеяния имеет следующий вид:

$$P_r(\lambda, R) = \frac{1}{2} G(R) P_0 c \tau_p \beta_\pi(\lambda, R) A_r T^2(\lambda, R) \xi_0(\lambda) R^{-2} \quad (9)$$

где  $P_0$  – мощность импульса излучателя;  $\tau_p$  – длительность импульса;  $c$  – скорость света;  $\lambda$  – длина волны;  $R$  – текущая дальность;  $A_r$  – площадь входного зрачка;  $\beta = \sigma \cdot b$  – объемный коэффициент обратного рассеяния;  $\sigma$  – объемный коэффициент рассеяния;  $b = \beta_\pi / \sigma$  – лидарное отношение, или модуль вектора индикатрисы рассеяния для угла  $\pi$ ;  $\alpha$  – объемный показатель ослабления;  $\xi_0(\lambda)$  – пропускание приемной оптической системы;  $G(R)$  – геометрический фактор лидара, характеризуемый интегралом перекрытия зондирующего луча и поля зрения приемника ( $G(R) = 1$  при полном перекрытии).  $T = \exp\left(\int_0^R \alpha dr\right)$  – коэффициент пропускания атмосферы на длине волны  $\lambda$ .

Для нашего случая эти величины имеют следующие значения:

В связи с тем, что в качестве основной длины волны источника излучения лидара была выбрана  $\lambda = 355$  нм лазера (импульсный Nd: YAG-лазер), то мощность излучения составляет  $P_0 = 285$  кВт.

Исходя из анализа литературы были выбраны следующие параметры для решения лидарного уравнения:

$$\tau_p = 2\text{нс}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$R = 500 \text{ м}$$

$$A_r = 0,0034 \text{ м}^2 (\text{диаметр } 114 \text{ мм});$$

$$\sigma = 1,182 \cdot 10^{-2} \text{ км}^{-1} (\text{для } 355\text{нм}) = 1,162 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$$

$$b = 1,5$$

$$\alpha = 0,2 \text{ км}^{-1} (\text{для } 355\text{нм}) = 0,0002 \text{ м}^{-1}$$

$$G(R) = 1$$

В простейших оптических системах коэффициент пропускания передающего канала, который представляет собой телескопическую систему из двух линз (выпуклой и вогнутой), составляет 0,95 - 0,98. Коэффициент пропускания приемной оптической системы 0,8 - 0,9.

При проведении предварительных оценок, когда оптическая система дальномера еще детально не определена, желательно использовать следующие величины:

- для простых автономных дальномеров 0,7 - 0,8;
- для сложных дальномерных систем 0,5 - 0,6;
- для особо сложных комплексов с применением лазерного дальномера 0,2 - 0,3.

$$\xi_0 = 0,2$$

Подставим все в выражение 9 и вычислим мощность обратного излучения:

$$P_r(\lambda, R) = \frac{1}{2} G(R) P_0 c \tau_p \beta_\pi(\lambda, R) A_r T^2(\lambda, R) \xi_0(\lambda) R^{-2}$$
$$= \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 285 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \cdot 1,743 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0034 \cdot 0,905^2 \cdot 0,2 \cdot 500^{-2}$$

$$= 3,32 \cdot 10^{-9} \text{ W} \quad (10)$$

Исходя из полученного значения мощности обратного излучения был подобран ФЭУ фирмы HAMAMATSU модели H8711-04, характеристики которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики ФЭУ H8711-04.

Размер фотокатода	4x4 мм
Длины волн	300, 420, 650
Материал фотокатода	Baikal
Материал окна	Бросиликатное стекло
Средний ток анода	0,35 мА
Чувствительность	80 мкА/лм
Средний индекс чувствительности	9,5
Усиление	$3,5 \cdot 10^6$
Светочувствительность	280/ лм
Время нарастания	0,83 нс
Транзитное время	12 нс

#### 4.2 Расчет коллиматора

В связи с тем, что разрабатываемая система лидара будет расположена на летающем носителе, то для детального обследования обширных акваторий необходимо разработать коллиматор. Производство обследование на

бортовых носителях позволяет изучать пространственную изменчивость океанологических характеристик в том масштабе, который недоступен судовым.

Были приняты следующие исходные данные для расчета:

$n = 1,4752$  – показатель преломления для кварцевого стекла на длине волны излучения  $\lambda = 355$  нм;  $\theta = 0,8 \cdot 10^{-3}$  рад – расходимость лазерного излучения;  $d_0 = 2$  мм – апертура излучения;  $L_1 = 0,07$  м – расстояние от резонатора до объектива;

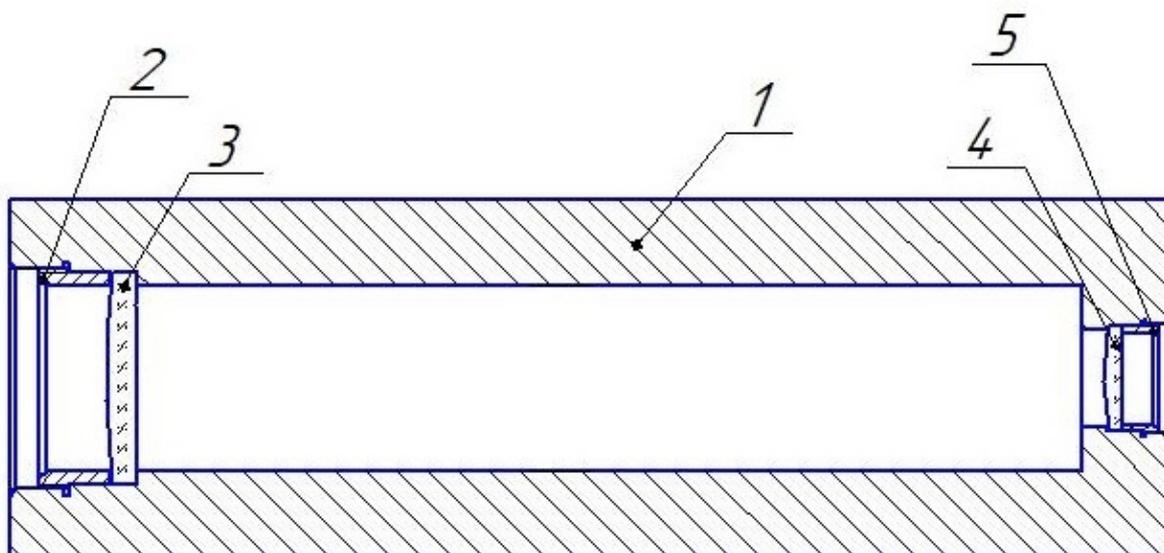


Рисунок 17– Коллиматор: гайка для второй линзы, 2 - линза вторая, 3 – корпус, 4 – линза первая, 5 – гайка для первой линзы.

Данная конструкция подробнее рассмотрена в Приложении В СНИУ 6463.00.0011.

#### 4.2.1 Расчет первой линзы

$\frac{r_1}{r_2} = C$  – условия минимальной аберрации, где  $C$  – постоянная Кюри,

которая зависит от вещества и равняется:

$$C = \frac{2n^2 - n - 4}{2n^2 + n} \quad (11)$$

Подставим наше значение показателя преломления  $n$  и получим:

$$C = \frac{2(1,4752)^2 - 1,4752 - 4}{2(1,4752)^2 + 1,4752} = -0,19 \approx -0,2$$

Принимая во внимание условие уменьшения aberrации, для линзы  $r_1 < |r_2|$  выбираем

$$r_1 > 5d_0, r_1 = 12 \text{ (мм)};$$

$$r_2 = \frac{r_1}{C}, r_2 = \frac{12}{-0,2} = -60 \text{ (мм)}.$$

Выбираем диаметр линзы в соответствии с ее материалом:

$$d_{л} = \sqrt{3} \cdot d_0 - \text{при условии минимальной оптической aberrации.}$$

$$d_{л} = \sqrt{3} \cdot 2 = 3,46 \approx 4 \text{ (мм)}.$$

Вычислив диаметр линзы и, исходя из формулы оптической силы, найдем  $f_1$  первой линзы:

$$\Phi_1 = \frac{1}{f_1} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n-1)^2}{n \cdot r_1 \cdot r_2} \cdot d_{л1} \quad (12)$$

$$\Phi_1 = \frac{1}{f_1} = (1,4752 - 1) \left( \frac{1}{12} - \frac{1}{-60} \right) + \frac{(1,4752 - 1)^2}{1,4752 \cdot 12 \cdot (-60)} \cdot 4 = 0,047 \left( \frac{1}{\text{мм}} \right).$$

Результат расчета представлен в Приложении В СНИУ 6463.00.009.

#### 4.2.2 Расчет второй линзы

Соответственно фокус второй линзы равен:

$$f_2 = 10f_1; \quad (13)$$

$$f_2 = 10 \cdot \frac{1}{0,047} = 210 \text{ (мм)}.$$

В соответствии с типом объектива  $L_2 = 3f_1 = 3 \cdot \frac{1}{0,047} = 63 \text{ (мм)}$ .

Выбираем  $d_{л}$ (из условия выше):  $d_{л2} = \sqrt{3} \cdot 2d_0 = 8 \text{ (мм)}$ .

Так как материал линз тот же, что и для первой линзы, значение  $C = -0,2$  остается прежним.

Тогда:

$$\frac{r_3}{r_4} = C \text{ или } C \cdot r_3 \cdot r_4 \text{ (также по условию выше)}.$$

Учитывая (условие 12), получим:

$$\Phi_1 = \frac{1}{f_2} = (n-1) \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) + \frac{(n-1)^2}{n \cdot r_3 \cdot r_4} \cdot d_{л2}$$

Так как  $r_3 = C \cdot r_4$ , то перепишем формулу:

$$\Phi_1 = \frac{1}{f_2} = (n-1) \left( \frac{1}{C \cdot r_4} - \frac{1}{r_4} \right) + \frac{(n-1)^2}{n \cdot C \cdot r_4 \cdot r_4} \cdot d_{л2} \quad (14)$$

Решим квадратное уравнение:

$$n \cdot C \cdot r_4^2 - n \cdot r_4 \cdot (1 - C) \cdot (n - 1) \cdot f_2 - f_2 \cdot (n - 1)^3 \cdot d_{л} = 0;$$

$$1,4752 \cdot (-0,2) \cdot r_4^2 - 1,4752 \cdot r_4 \cdot (1 + 0,2) \cdot (1,4752 - 1) \cdot 63 - 63 \cdot \\ \cdot (1,4752 - 1)^3 \cdot 8 = 0;$$

$$-0,3 \cdot r_4^2 - 52,99 \cdot r_4 - 54,08 = 0;$$

выбираем один из корней уравнения  $r_4 = -175 \text{ (мм)}$ .

$$\text{Тогда } r_3 = C \cdot r_4 = -0,2 \cdot (-175) = 35 \text{ (мм)}.$$

Результат расчета также представлен в Приложении В СНИУ 6463.00.010.

### **Выводы:**

В результате расчета оптической схемы были рассчитаны следующие характеристики:

1. Мощность регистрируемого обратного сигнала  $P=3,32 \cdot 10^{-9}$  Вт.

Исходя из полученного значения мощности обратного излучения был подобран ФЭУ фирмы HAMAMATSU модели H8711-04;

2. Апертура телескопа - 114 мм;

3. Параметры разрабатываемого коллиматора:

- Радиусы 1-ой линзы: 12 и -60 мм; Радиусы 2-ой линзы: 35 и -175мм;

- Фокус 1-ой линзы  $f_1 = 21$  (мм); Фокус 2-ой линзы  $f_2 = 210$  (мм);

- Диаметры 1й и 2й линзы: 4 и 8 мм.

## 5 Конструкция принципиальных узлов

Разработка конструкции прибора проводилась с учетом следующих основных требований:

1. Многофункциональность применения;
2. Сменность узлов, предназначенных для конкретной схемы применения;
3. Отсутствие необходимости настройки оптической схемы;

Прибор состоит из следующих блоков, собранных в едином корпусе:

1. Телескоп;
2. Полихроматор;
3. ФЭУ;
4. Сканатор;
5. Коллиматор;
6. Лазер;
7. Фильтр.

Коллиматор выходного пучка состоит из двух линз, является сменным блоком.

Сканатор содержит шаговый двигатель, который перемещает зеркало. Является сменным блоком.

Телескоп построен по типу Кассегрена. Содержит 2 зеркала (одно вогнутое, другое выпуклое). Является сменным блоком.

Полихроматор состоит из 2х дифракционных решеток и 2х зеркал. Является сменным блоком.

Импульсный лазер Nd:YAG будем использовать в качестве источника излучения.

Так как нам будет необходимо отсекаать излучение с теми длинами волн, которые не будут учитываться при обработке результатов, воспользуемся светофильтром UVNDфильтром 355нм [26].

Принцип многофункциональности и сменности обеспечивается наличием легкоъемных блоков. Благодаря этому, система может фиксировать наборы компонентов несколькими способами. Отсутствие юстировочных узлов обеспечивается точным оптическим расчетом. Подстройка системы обеспечивается набором регулировочных шайб между корпусом и передней крышкой (Приложения А-Д).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализированы оптические свойства разных типов углеводородов. В качестве длины волны источника излучения была выбрана  $\lambda = 355 \text{ нм}$ .

2. Рассмотрены несколько возможных оптических схем построения лидарной системы и выбрана самая оптимальная.

3. Разработана функциональная схема лидара, удовлетворяющая поставленным критериям, а именно: универсальность, многофункциональность и миниатюризация.

4. В результате расчета оптической схемы лидара были получены следующие характеристики лидара:

- мощность регистрируемого обратного сигнала  $P = 3,32 \pm 0,32 \text{ нВт}$ ;

- апертура телескопа - 114 мм.

5. В итоге, разработана конструкция принципиальных узлов оптической системы лидара для контроля выбросов углеводородов в водных акваториях.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Загрязнение окружающей среды: экологические проблемы природы [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://tion.ru/blog/zagryaznenie-okruzhayushchej-sredy/>
2. Меньщиков В. Ф., Яблоков А. В. Загрязнение окружающей среды // Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://bigenc.ru/biology/text/1985429>
3. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа [Текст] / С.А. Патин–М.: ВНИРО, 2001. – 247 с.
4. Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов И.А. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия [Текст] / В.М. Гольдберг–М.: Наука, 2001. – 125 с.
5. Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Панов Г.В. Современное состояние прибрежных экосистем морей Российской Федерации // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 9. – 6–21 с.
6. Машиностроение и компьютерные технологии. 2017. № 08. С. 1–11.
7. Физика нефти/Физико-химические свойства [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/phisyschemicalproperty8.html>
8. Казицына Л.Л., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и МАСС-спектроскопии в органической химии [Текст]: учебного пособия для студентов химических специальностей университетов / ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА 1979 – 87 с.
9. Физико-химические свойства [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/phisyschemicalproperty8.html>
10. Федотов Ю. В., Матросова О. А., Белов М. Л., Городничев В. А. Экспериментальные исследования спектров флуоресценции

природных образования и нефтяных загрязнений[Текст]: учебное пособие для вузов / Ю.В. Федотов – М.: НИИРЛТМГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011 – 32с.

11. Хатунцева Л.Н., Башилов А.В., Селезнев А.В., Чичаев В.В., Маньшев Д.А. Флуоресценция окисленных водорастворимых компонентов нефтепродуктов [Текст] // Л.Н. Хатунцева– М.: ВЕСТН . МОСК. УН-ТА. СЕР. 2. ХИМИЯ. 2004. Т. 45. № 5

12. Особенности и применение атомно-абсорбционные спектрометров [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://etdspb.ru/speaking-about-atomic-absorption-spectroscopy/>

13. Флуоресцентный метод контроля газовых компонентов [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.composesystem.com/ru/applications\\_ru/htdocs/user/IvanovaES/view/post](http://www.composesystem.com/ru/applications_ru/htdocs/user/IvanovaES/view/post)

14. Григорьев П.В., Ломоносов А.М., Солнцев М.В. Исследование статистических свойств отраженного сигнала при лазерном зондировании морской поверхности // Изв. АН СССР. Сер. Физическая. – 1987. – Т. 51, № 2. – С. 210–214.

15. Белов М.Л., Городничев В.А., Козинцев В.И., Федотов Ю.В. Измерение толщины тонких пленок нефти на водной поверхности по второй производной коэффициента отражения [Текст] / М.Л. Белов // Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. – 2009. – № 2. – С.3–9.

16. Борн М., Вольф Э. Основы оптики [Текст] / М. Борн – М.: Наука, 1973. – 719 с.

17. Козинцев В.И., Белов М.Л., Городничев В.А. Дистанционный лазерный метод измерения толщины пленок нефтепродуктов на водной поверхности, основанный на определении коэффициента пропускания пленки нефти [Текст] / В.И. Козинцев //

Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. – 2006. – № 2. – С. 56–64.

18. Белов М.Л., Городничев В.А., Козинцев В.И., Стрелков Б.В., Федотов Ю.В. Дистанционный лазерный метод обнаружения тонких пленок нефтепродуктов на водной поверхности, основанный на измерении второй производной коэффициента отражения [Текст] / М.Л. Белов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. – 1997 – №3 – С. 3.

19. Куликов А.Н. Определение нефтепродуктов в водопогружным флуориметрическим анализатором полициклических ароматических углеводородов модели enviroFlu-H [Текст] / А.Н. Куликов // Экология производства, 2016 – 2 с.

20. Авандеева О.П., Баренбойм Г.М., Борисов В.М., Данилов-Данильян В.И., Христофоров О.В. Система раннего обнаружения течи подводного нефтепровода : пат. 2015135899 Рос. Федерация N 2 604 779 01 C1; заявл. 26.08.15; опубл. 12.07.16.

21. Herman A.W., Denman K. Rapid underway profiling of chlorophyll with an in situ fluorometer mounted on a "Batfish" vehicle— Deep-Sea Res., 1977, vol. 24, N 4, 385—397p.

22. Sergey Babichenko. Laser Remote Sensing of the European Marine Environment: LIF technology and Applications — Public Works, 2008, vol. 81, N 6, p. 190.

23. Бабиченко С.А., Дудельзак А.К., Лапина А.Ю.В., Лисина А.В., Порывкина Л.И., Воробьев А.С. Расположение загрязнения воды в разборке берега в прибрежной зоне и в внутренних водах с лидаром // Workshop on Laser Remote Sensing of Land and Sea, 2006, Vol.1, p-60 - 65

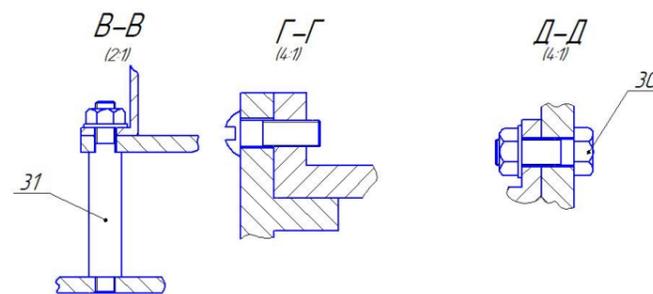
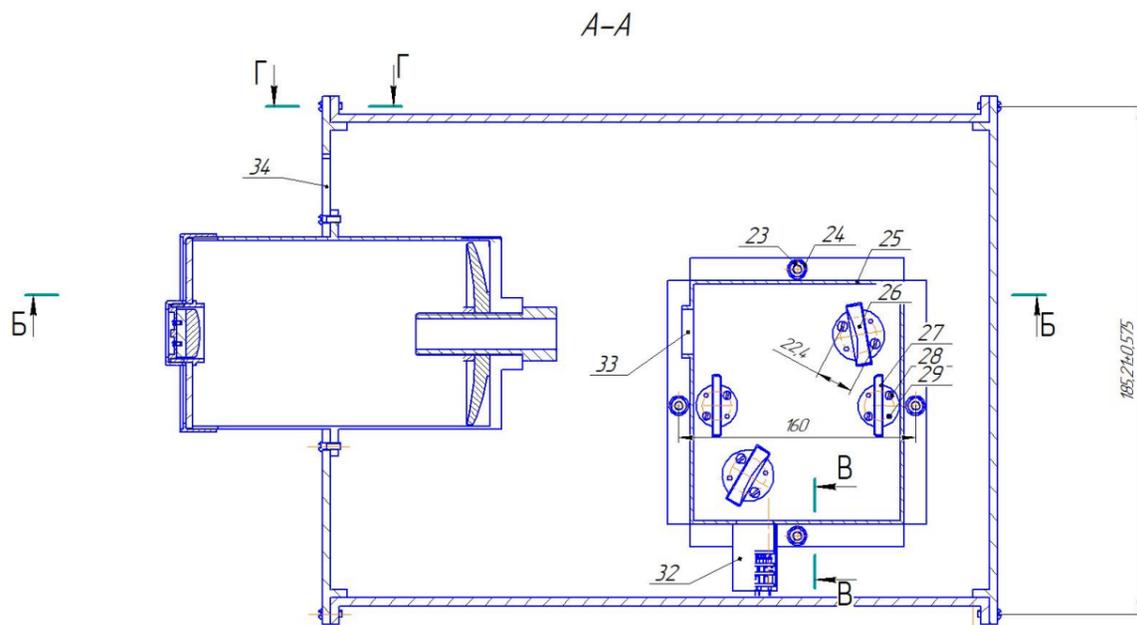
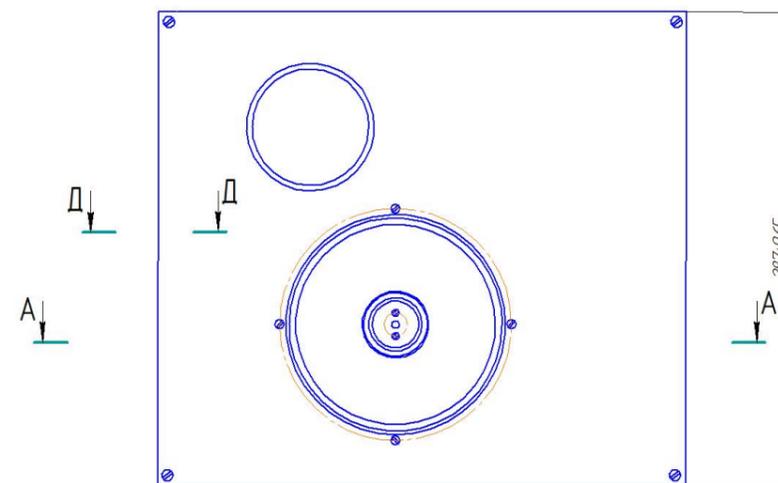
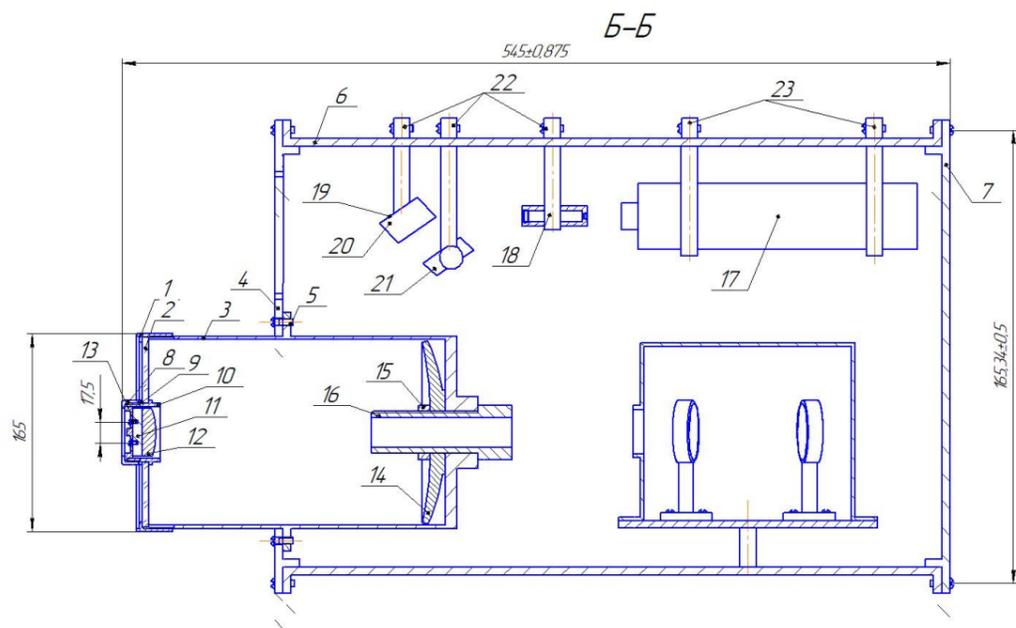
24. S.Babichenko, L.Poryvkina. Application of tuneable lidars of fls-series in marine investigations— Public Works, 2008, vol. 23, p. 29.

25. Multiwavelength laser induced fluorescence (LIF) LIDAR system for remote detection and identification of oil spills / Sami D. Alaruri / Independent Researcher, P.O. Box 13123, Mill Creek, WA, USA

26. UVND Filters [Электронный ресурс] – Каталог товаров – Электрон. Текстовые дан. Online – Режим доступа: <https://www.ophiropt.com/laser--measurement/ru/beam-profilers/products/Accessories/ND-Filters/355nm-Specialty-Filter>

# ПРИЛОЖЕНИЕ А. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ. СПЕЦИФИКАЦИЯ

СНИУ 6463.00.001 СБ



- \*Размеры для справок
- В собранные боковые стенки корпуса лидара устанавливаются элементы 17, 18, 19, 20, 21 и 25. Затем элемент 3 с помощью винтов фиксируется к передней вертикальной панели, которая в свою очередь также при помощи винтов соединяется с боковыми стенками лидара. Далее опытным путем происходит юстировка.
- После установки и проверки всех коллекций к боковым стенкам лидара закрепляется задняя вертикальная панель.

Лист 1 из 1  
Страна: РФ  
Вопросы: 123456789  
Листы и детали: 123456789  
Листы: 123456789  
Листы: 123456789

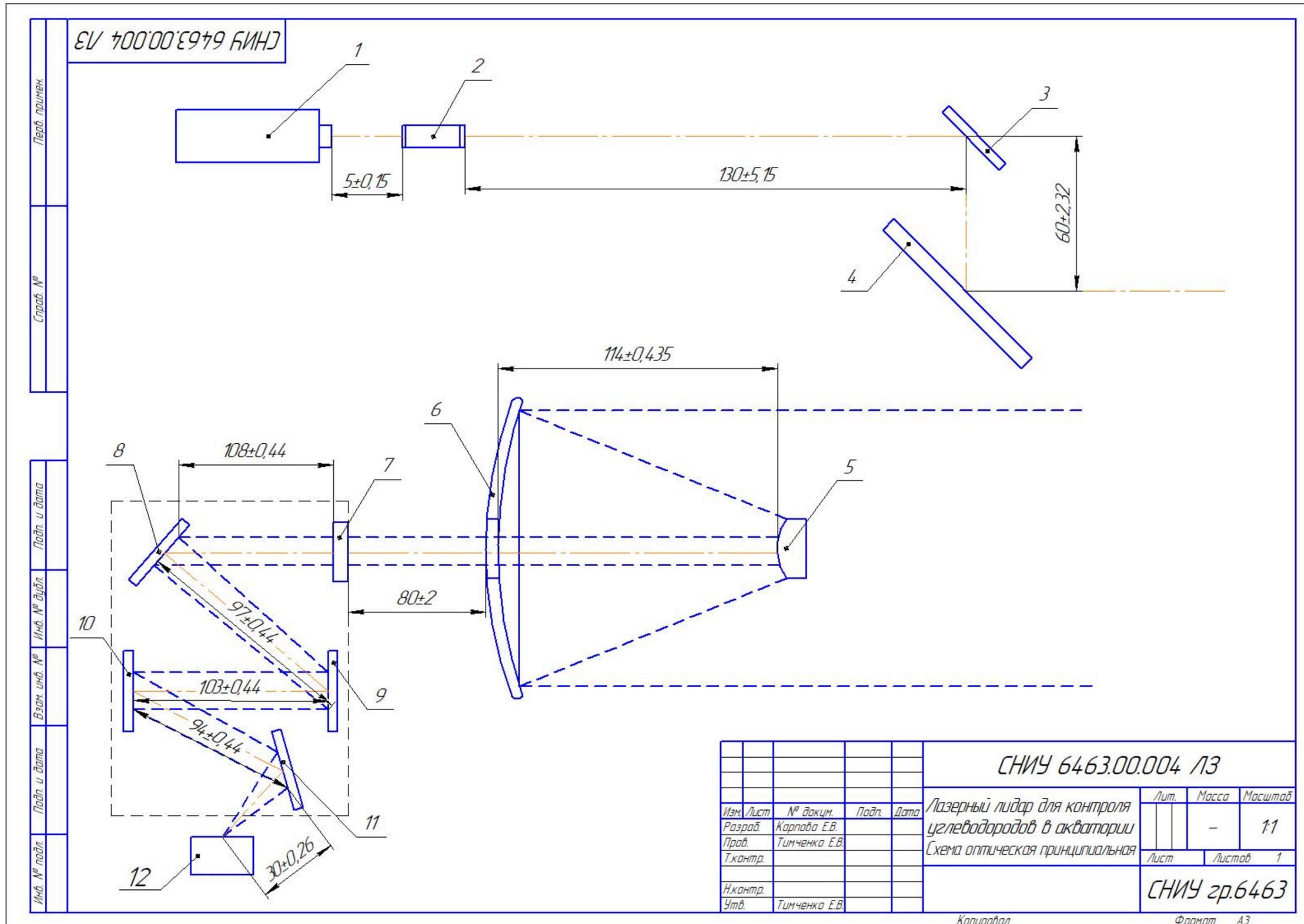
СНИУ 6463.00.001 СБ				Лит	Масса	Масштаб
Лидар						12
Сборочный чертеж				Лист	Листов	1
СНИУ гр.6463						
Имя Лист	№ Докум	Лист	Дата			
Разработ	Карпова ЕВ					
Проб	Тимченко ЕВ					
Утверд						
Имя Лист	№ Докум	Лист	Дата			
Имя Лист	№ Докум	Лист	Дата			

Копиролл  
Формат А1

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.		1		Крышка телескопа	1	
		2		Входное окно	1	
		3		Корпус телескопа	1	
		4	СНИУ 64.3.00.007	Передняя панель корпуса лидара	1	
		5		Винт М4-6дх10 ГОСТ 11738-84	20	
		6	СНИУ 64.63.00.006	Боковые стенки корпус лидара	1	
Справ. №		7	СНИУ 64.63.00.008	Задняя панель корпуса лидара	1	
		8	СНИУ 64.63.00.017	Прижимная крышка	1	
		9		Прокладка	1	
		10		Фиксирующая втулка	1	
		11		Подложка зеркала	1	
		12		Зеркало выпуклое	1	
		13		Винт М3-6дх5 ГОСТ 11738-84	2	
		14		Зеркало вогнутое	1	
		15		Прижимная шайба	1	
		16		Крепежная втулка	1	
		17		NdYag лазер	1	
		18	СНИУ 64.63.00.014	Коллиматор	1	
	Подп. и дата		19	СНИУ 64.63.00.018	Крепление зеркала	1
		20		Зеркало	1	
		21		Сканатор	1	
		22	СНИУ 64.63.00.019	Крепления	3	
		23	СНИУ 64.63.00.020	Крепление лазера	2	
Инв. № дубл.		24		Гайка М6-6Н5(S10) ГОСТ 5915-70	4	
		25		Шайба 6.03.019 ГОСТ 11371-78	4	
		26		Корпус полихроматора	1	
Взам. инв. №		27		Дифракционная решетка	2	
		28		Зеркало плоское	2	
		29		Винт М4-6дх5 ГОСТ 11738-84	4	
Подп. и дата	СНИУ 64.63.00.002					
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Инв. № подл.	Разраб.	Карлова Е.В.				
	Проб.	Тимченко Е.В.				
	Н.контр.					
	Утв.	Тимченко Е.В.				
<b>Лидар</b>				Лит.	Лист	Листов
						1
<b>СНИУ гр.6463</b>						



ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СХЕМА ОПТИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПАЛЬНАЯ. СПЕЦИФИКАЦИЯ



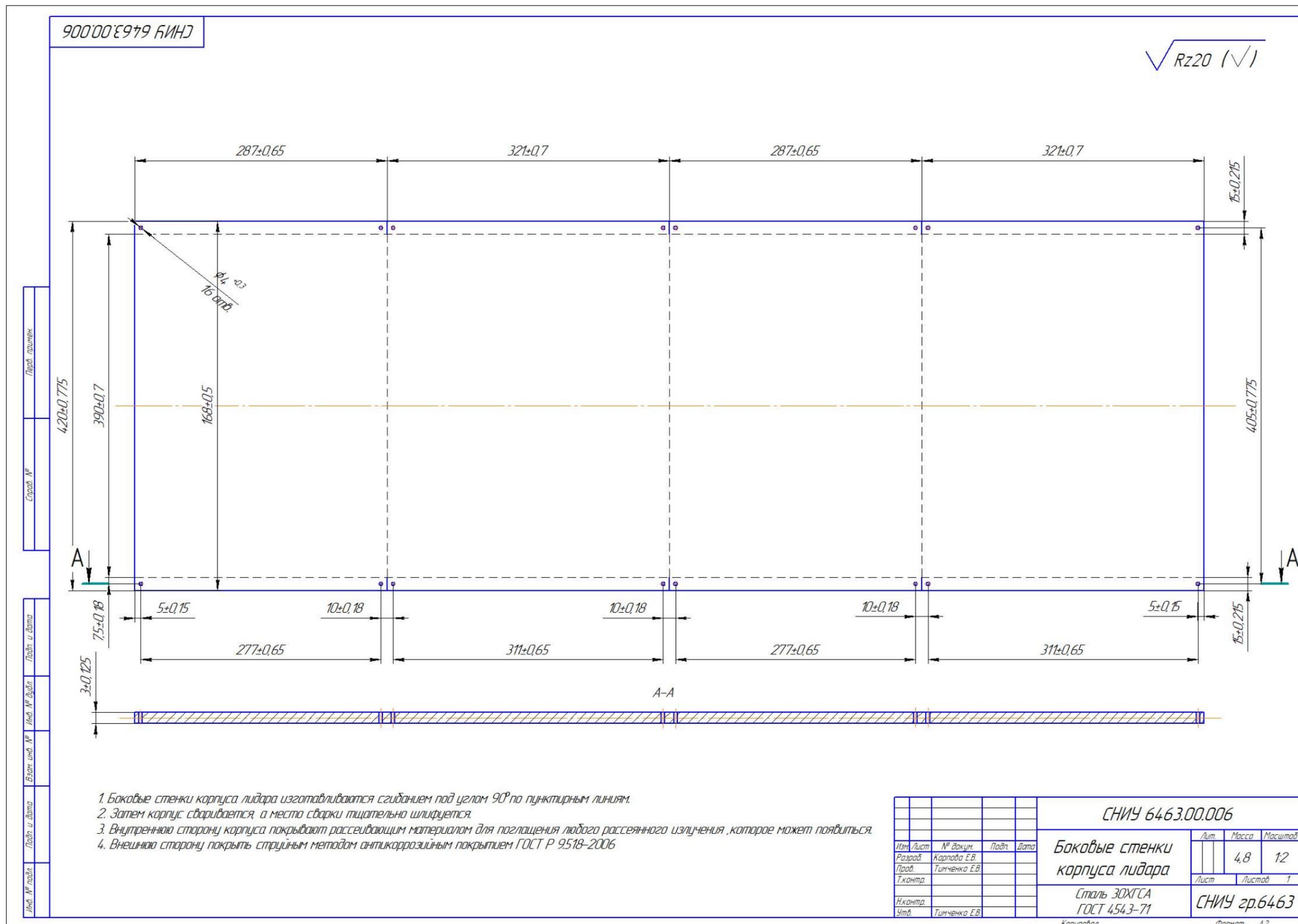
				<b>СНИУ 6463.00.004 ЛЗ</b>				
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лазерный лидар для контроля углеводородов в акватории	Лит.	Масса	Масштаб
		Карпова Е.В.			Схема оптическая принципиальная		-	1:1
		Тимченко Е.В.				Лист	Листов	1
						<b>СНИУ зр.6463</b>		

Копировал

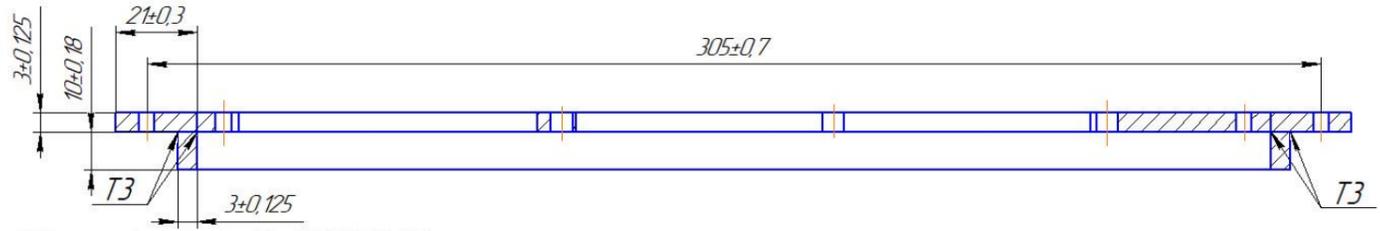
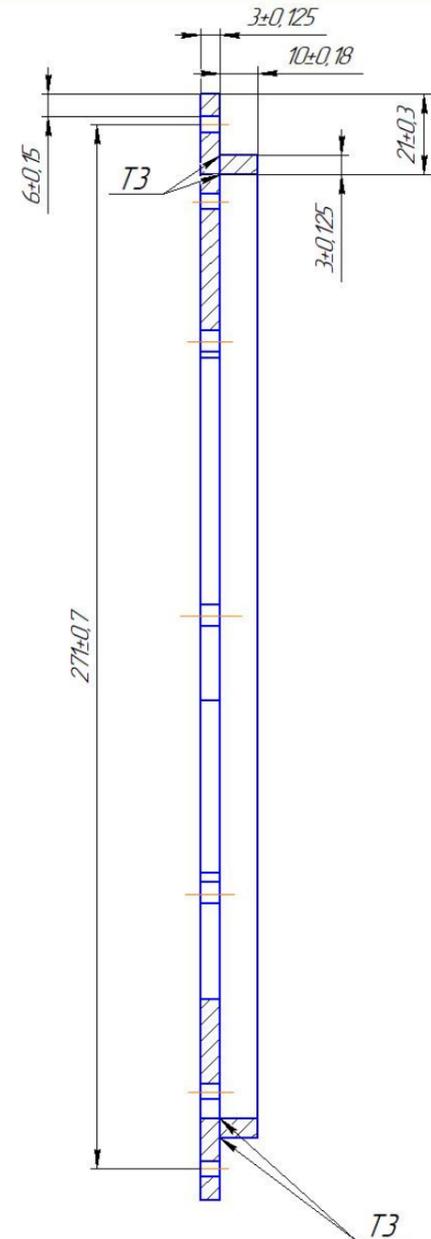
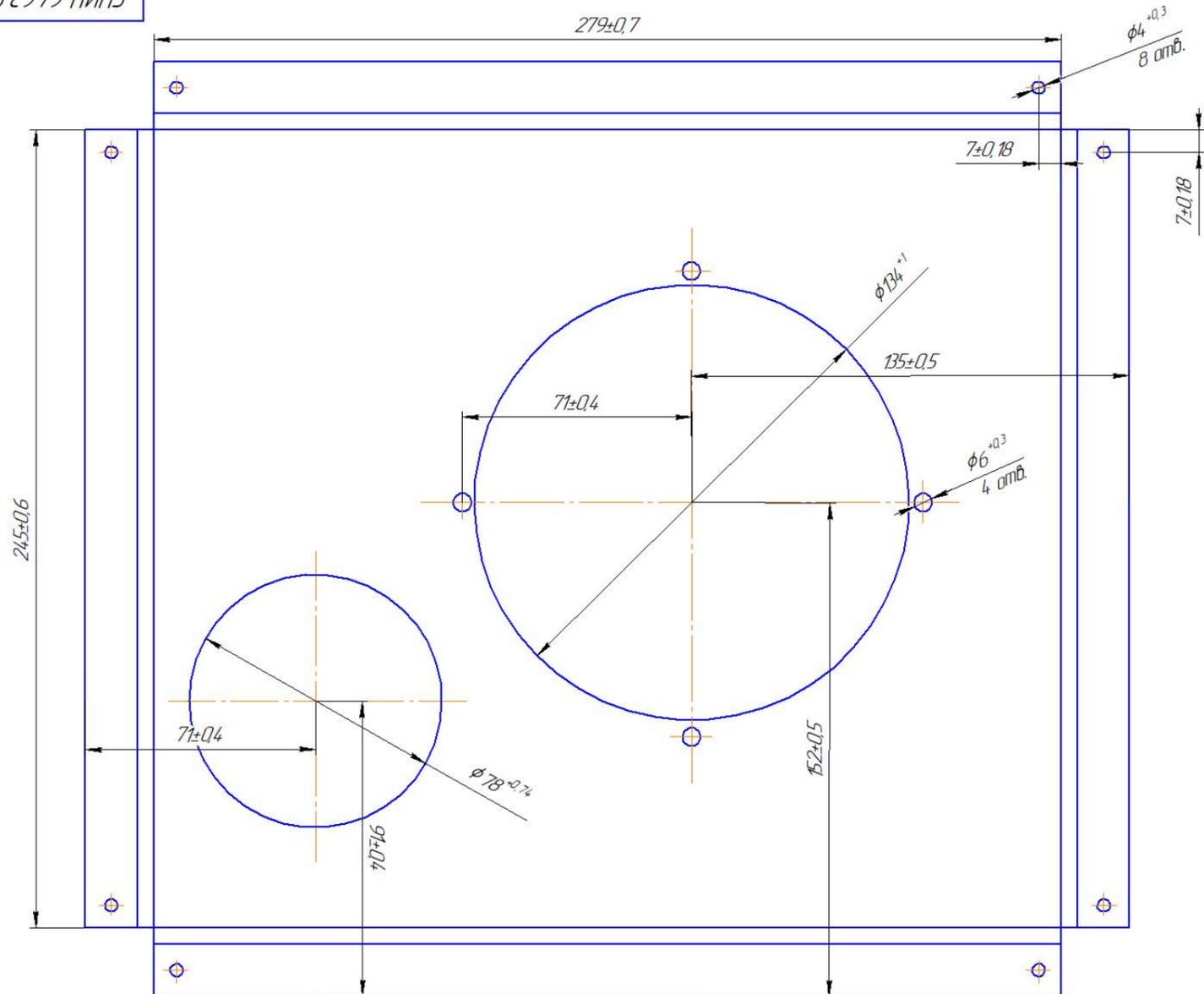
Формат А3



ПРИЛОЖЕНИЕ В. КОРПУС



ЛОУ000'Е979 БИИД



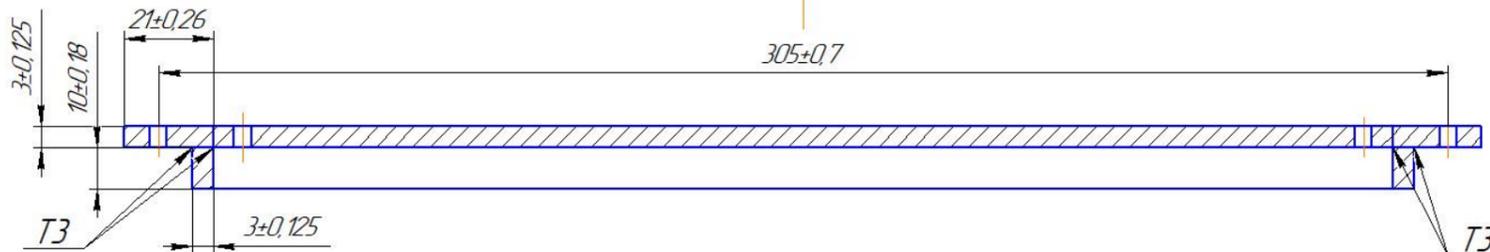
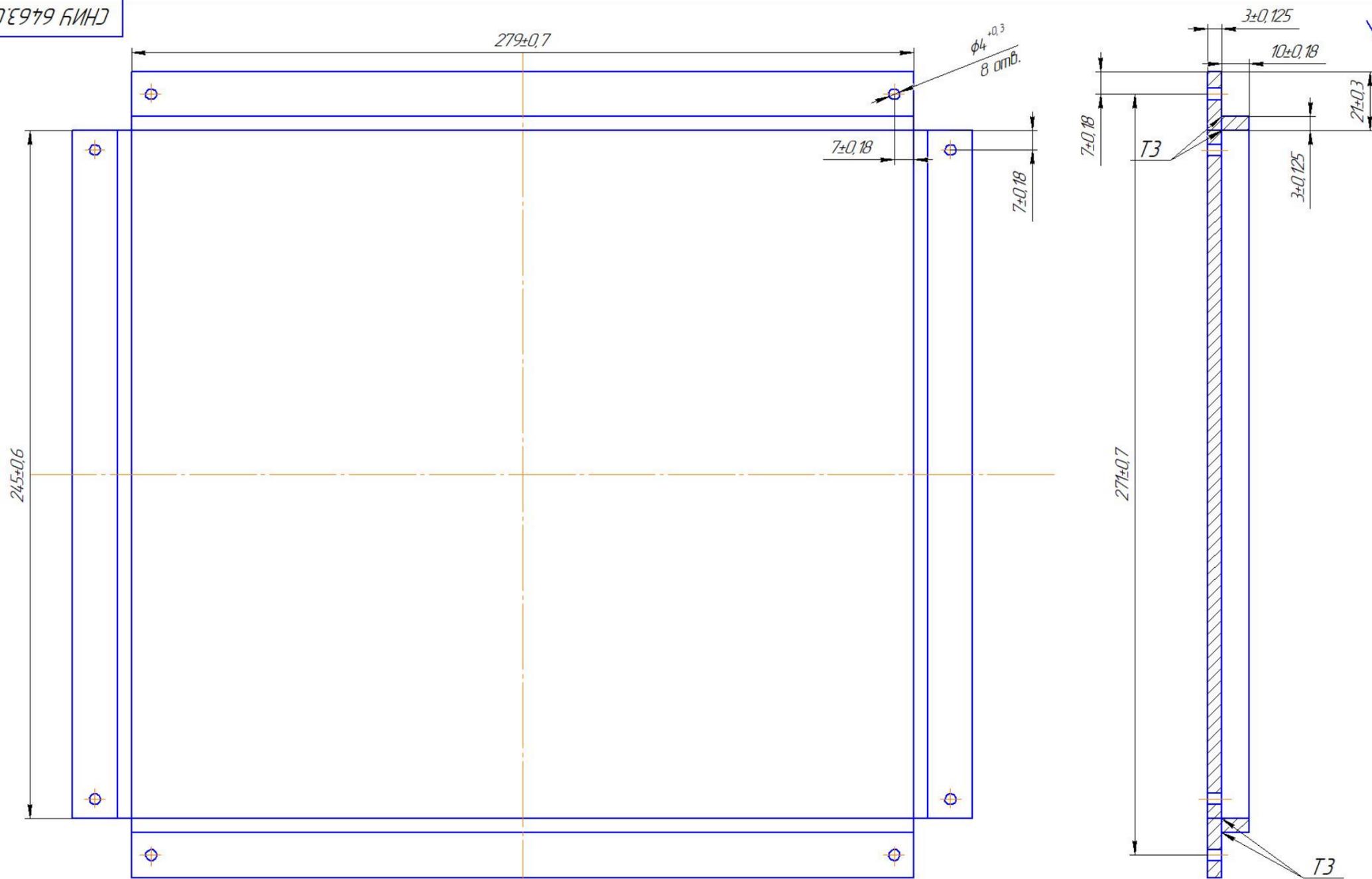
1. Сварные швы таборные Т3–ГОСТ 5264–80
2. Внутреннюю сторону корпуса покрывают рассеивающим материалом для поглощения любого рассеянного излучения, которое может появиться.
3. Внешнюю сторону покрыть струйным методом антикоррозионным покрытием ГОСТ Р 9.518–2006
4. Толщина материала 3 мм.

Лист	Листов	Лист	Листов	Лист	Листов	Лист	Листов
1	1	1	1	1	1	1	1

СНИУ 6463.00.007				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	28	1:1
Разраб.	Карлова Е.В.					
Проб.	Тимченко Е.В.					
Технтр.						
Н.контр.						
Утв.	Тимченко Е.В.					
Передняя вертикальная панель					Лист	Листов 1
Сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71					СНИУ гр.6463	

Копирован Формат А2

800'00'Э979 БИИД



1. Сварные швы таборные Т3 – ГОСТ 5264–80.
2. Внутреннюю сторону корпуса покрывают рассеивающим материалом для поглощения любого рассеянного излучения, которое может появиться.
3. Внешнюю сторону покрыть струйным методом антикоррозийным покрытием ГОСТ Р 9518–2006
4. Толщина материала 3 мм.

				СНИУ 6463.00.008			
Изм./Лист	№ док.им.	Подп.	Дата	Задняя вертикальная панель	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Карлова Е.В.				3,2	1:1	
Проб.	Тимченко Е.В.				Лист	Листов	1
Т.контр.					СНИУ зр.6463		
Н.контр.							
Утв.	Тимченко Е.В.						

Копировал

Формат А2

Перв. примен.	
Строч. №	
Лист и дата	
Инд. № докл.	
Взам. инв. №	
Лист и дата	
Инд. № лист.	

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ДЕТАЛИРОВКА КОЛЛИМАТОРА. СПЕЦИФИКАЦИЯ

600'00'Э979 БИИД

$\sqrt{Ra2.5 (\sqrt{1})}$

$\Delta n_{0.35\mu m}$	14E-4
Однородность	2
Двулучепреломление	2
Светопоглощение	2
Бессвильность	1Б
Пузырность	2Б
N	1
$\Delta N$	0,2
P	V
$\Delta R$	2
f	21

1. На поверхностях А Б нанести просветляющее покрытие,  $\rho \leq 0,3\%$  для  $\lambda=0,355$  с лучевой прочностью  $>2$  кВт/см<sup>2</sup>. ( $n_{\lambda=0.532}=1.48652$ ).

2. Деталь снабдить паспортом с указанием N  $\Delta N$ .

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.		Карпова Е.В.		
Проб.		Тимченко Е.В.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Тимченко Е.В.		

СНИУ 6463.00.009

**Первая линза  
коллиматора**

**Стекло КУ-1**

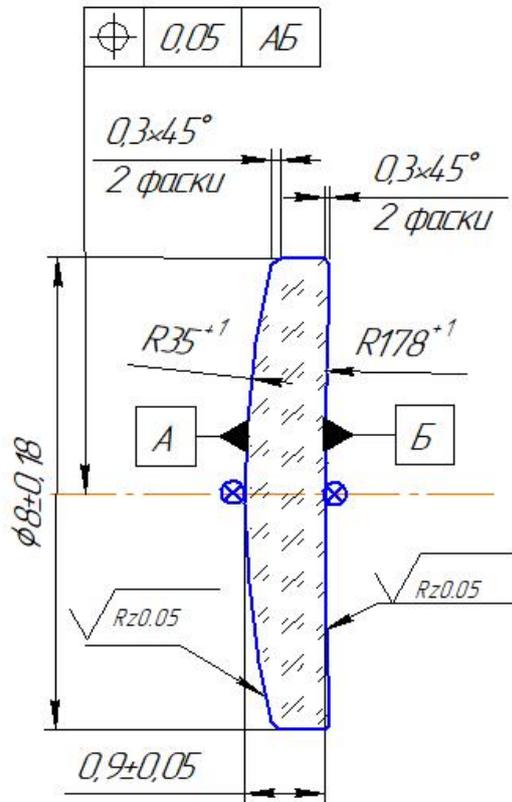
Лит.	Масса	Масштаб
	0,002	20:1
Лист	Листов 1	

Копировал

Формат А4

010'00'Э979 БИИД

$\sqrt{Ra2.5 (\sqrt{1})}$



$\Delta P_{0.355\mu m}$	1,4E-4
Однородность	2
Двулучепреломление	2
Светопоглощение	2
Бессвильность	1Б
Пузырность	2Б
N	1
$\Delta N$	0,2
P	V
$\Delta R$	2
f	210

1. На поверхностях А, Б нанести просветляющее покрытие,  $\rho \leq 0,3\%$  для  $\lambda=0,355$  с лучевой прочностью  $>2$  кВт/см<sup>2</sup>. ( $n_{\lambda=0.352}=1.48652$ ).
2. Деталь снабдить паспортом с указанием N,  $\Delta N$

Перв. примен.					
Справ. №					
Подп. и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	
	Разраб.	Карпова Е.В.			
	Проб.	Тимченко Е.В.			
	Т.контр.				
	Н.контр.				
	Утв.	Тимченко Е.В.			

СНИУ 6463.00.010

Вторая линза  
коллиматора

Стекло КУ-1

Лит.	Масса	Масштаб
	0,0028	10:1
Лист	Листов 1	

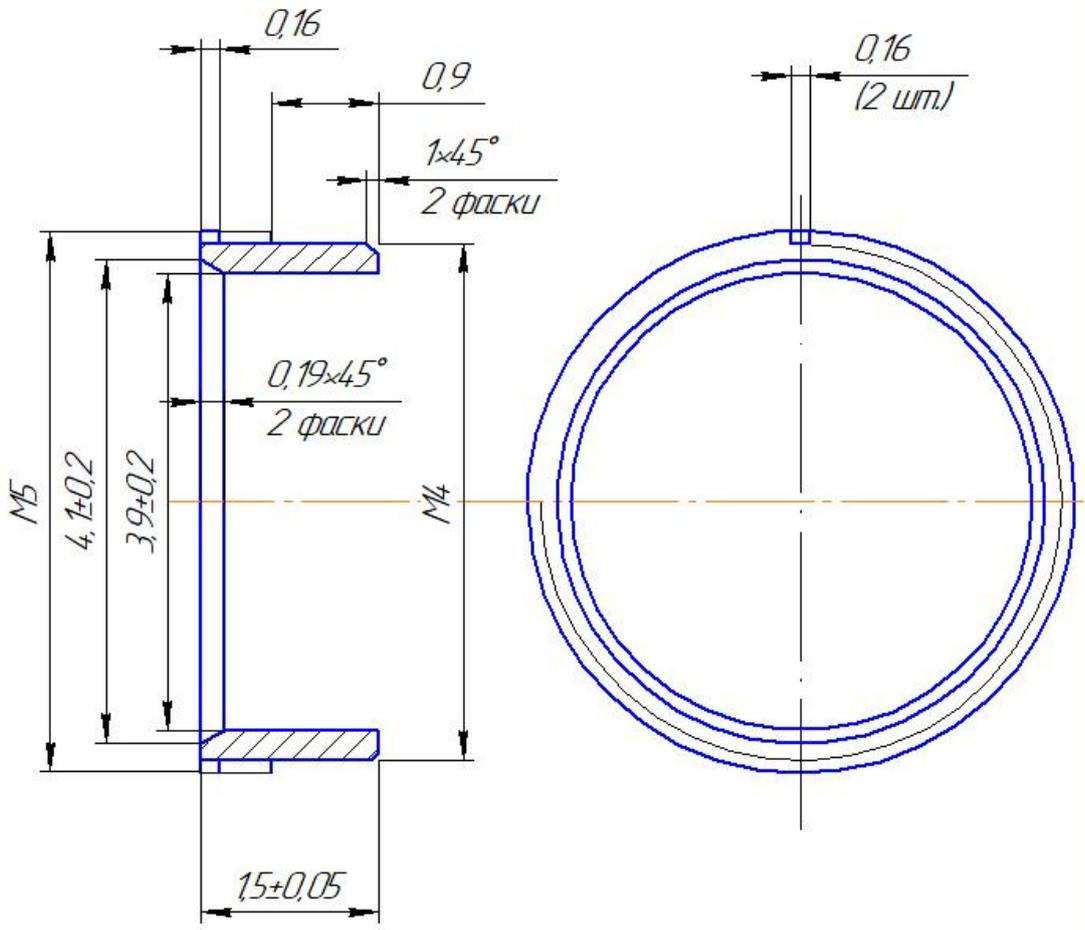
СНИУ зр.6463

Копировал

Формат А4

СНИУ 6463.00.011

$\sqrt{Rz20 (\sqrt{1})}$



1. Покрытие Ан. Окс. черн. по ГОСТ 9.303-84.
2. ОТТ по ОСТ 4 ГО.070.014.

Перв. примен.					
Справ. №					
Подп. и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	
Разраб.		Карпова Е.В.			
Проб.		Тимченко Е.В.			
Т.контр.					
Н.контр.					
Утв.		Тимченко Е.В.			

СНИУ 6463.00.011

Гайка  
для первой линзы  
коллиматора

Алюминий марки АМГЗ  
ГОСТ 5582-75

Лит.	Масса	Масштаб
	0,0015	20:1
Лист	Листов 1	

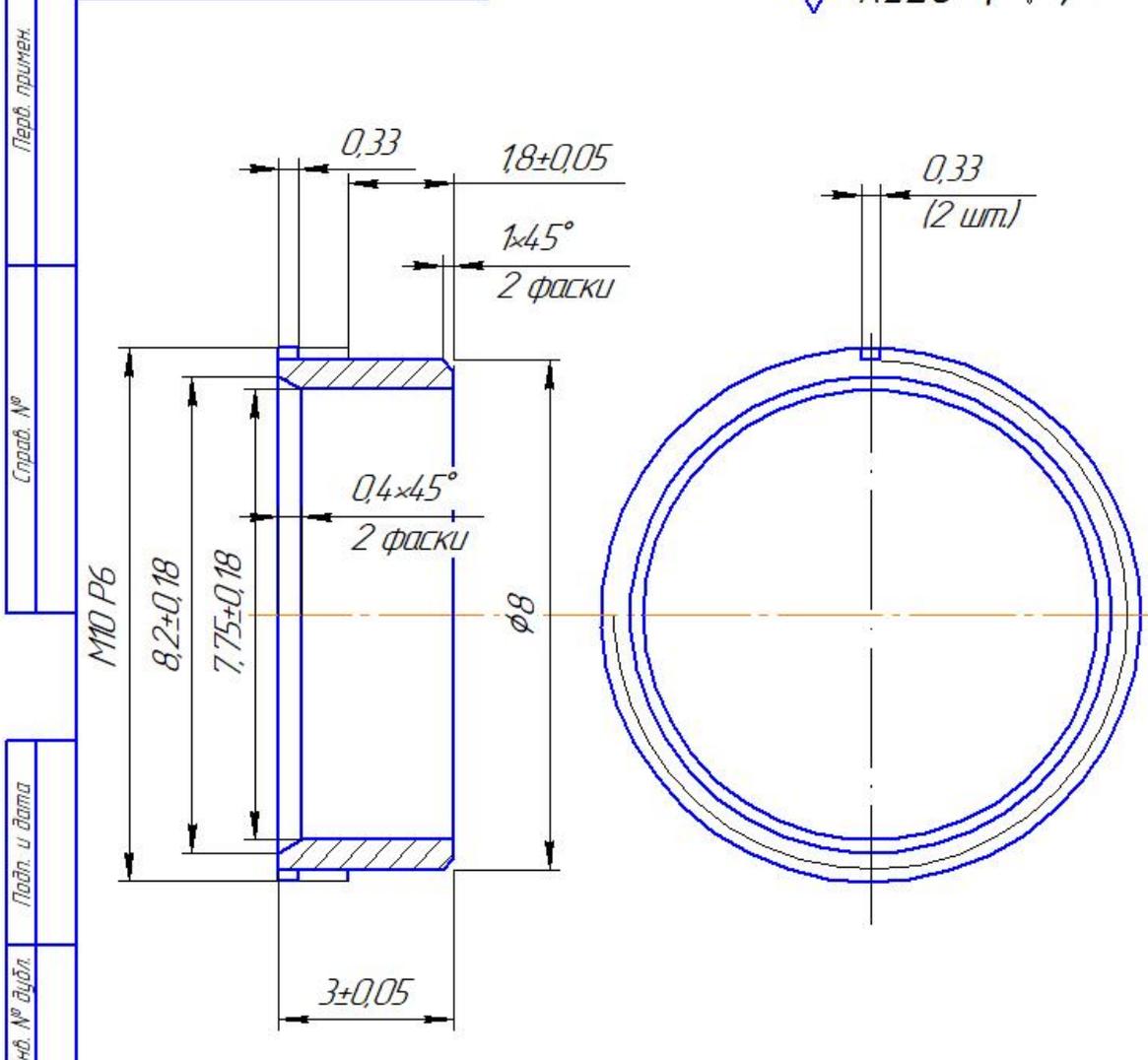
СНИУ зр.6463

Копировал

Формат А4

СНИУ 6463.00.012

√ Rz20 (√)



1. Покрытие Ан. Окс. черн.  
2. ОТТ по ОСТ 4 ГОСТ 0.014.

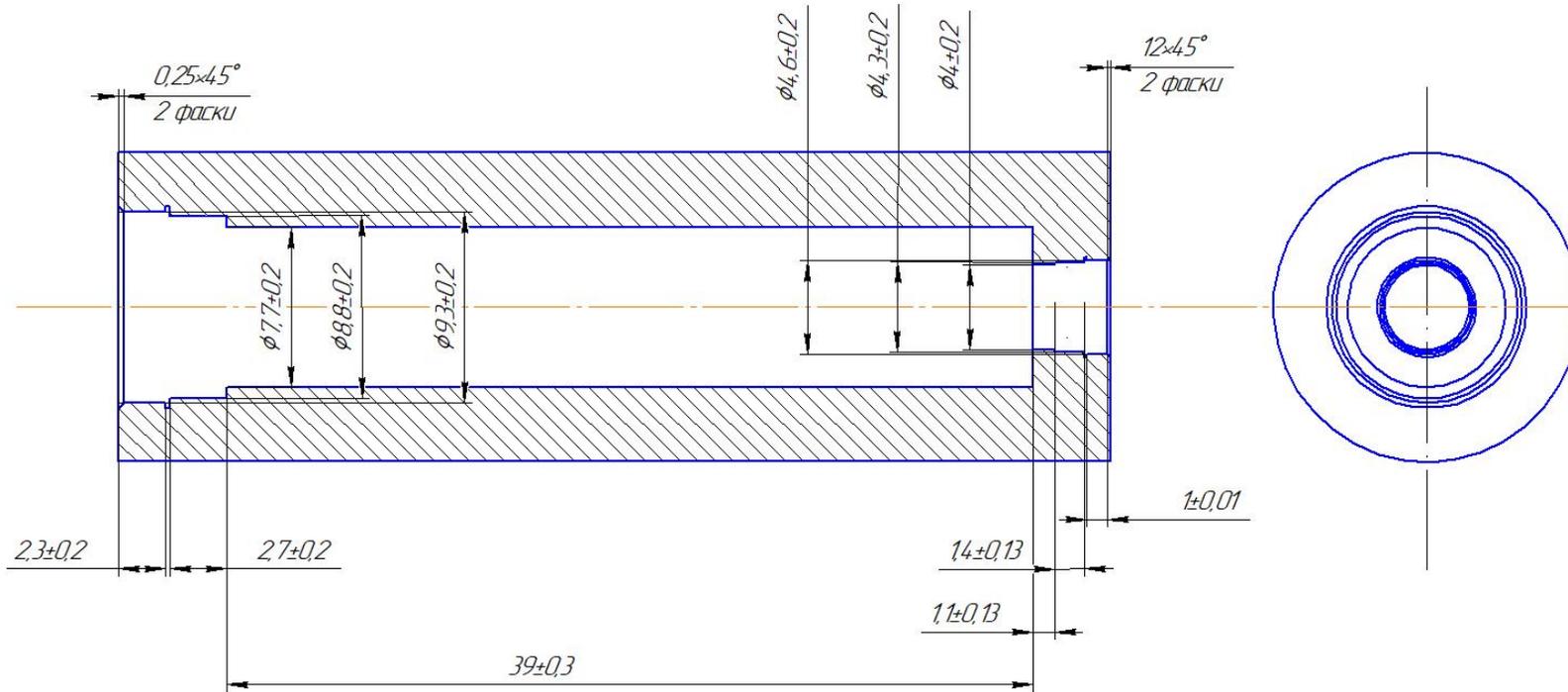
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	СНИУ 6463.00.012			
									Лит.
И.контр.	Утв.	Т.контр.	Проб.	Разраб.	Карпова Е.В.	Гайка для второй линзы коллиматора	Лист	Листов	1
							Алюминий марки АМГЗ ГОСТ 5582-75	СНИУ зр.6463	

Копировал

Формат А4

СНИУ 6463.00.013

$\sqrt{Rz50}$  ( $\sqrt{\quad}$ )



1. Предельные неуказанные отклонения, по НВ,  $h7 \pm IT \frac{12}{2}$ .
2. Острые кромки притупить.
3. Покрытие Ан. Окс. черн. по ГОСТ 9.303-84

Перв. эскиз

Справ. №

Лист и дата

Изм. №

Изм. №

Лист и дата

Изм. №

				СНИУ 6463.00.013		
				Корпус коллиматора		
Изм. Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Карпова Е.В.				0,02	5:1
Проб.	Тимченко Е.В.			Лист	Листов	1
Т.контр.				СНИУ зр.6463		
Н.контр.				Алюминий АМГ3 ГОСТ 5582-75		
Утв.	Тимченко Е.В.			Копировал		

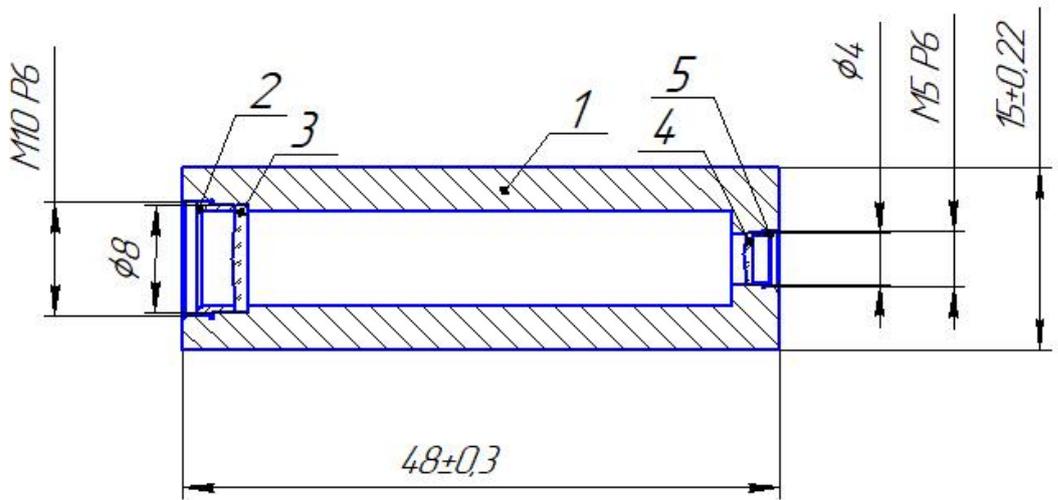
Копировал

Формат А3

СНИУ 6463.00.014 СБ

Перв. примен.

Справ. №



1. Предельные неуказанные отклонения, по НВ,  $h7 \pm IT \frac{12}{2}$ .
2. Острые кромки притупить.
3. Покрытие Ан. Окс. черн. по ГОСТ 9.303-84

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № лодл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Карпова Е.В.		
Проб.		Тимченко Е.В.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Тимченко Е.В.		

СНИУ 6463.00.014 СБ

Коллиматор  
Сборочный чертёж

Лит.	Масса	Масштаб
		2:1
Лист		Листов 1

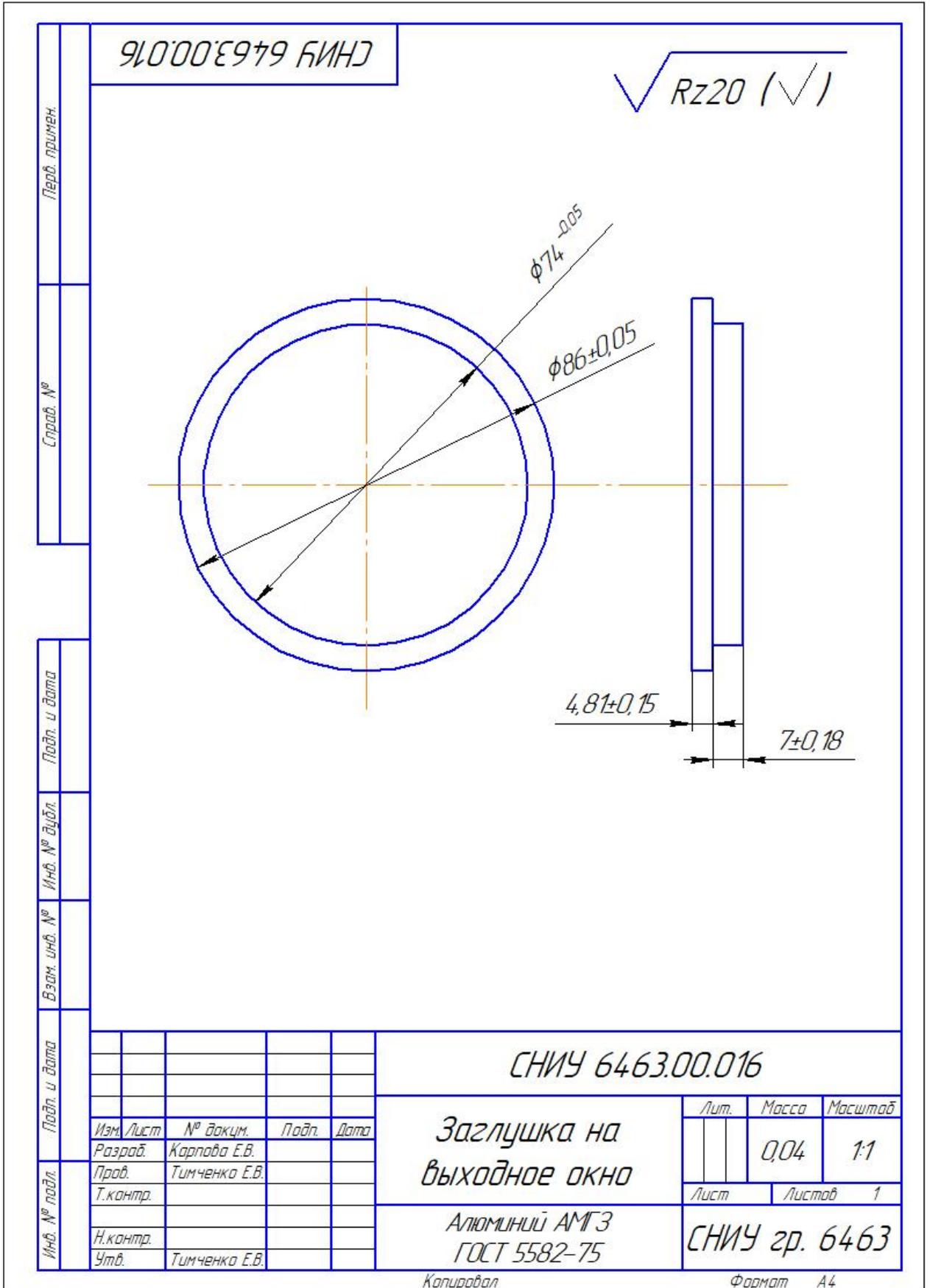
СНИУ зр.6463

Копировал

Формат А4

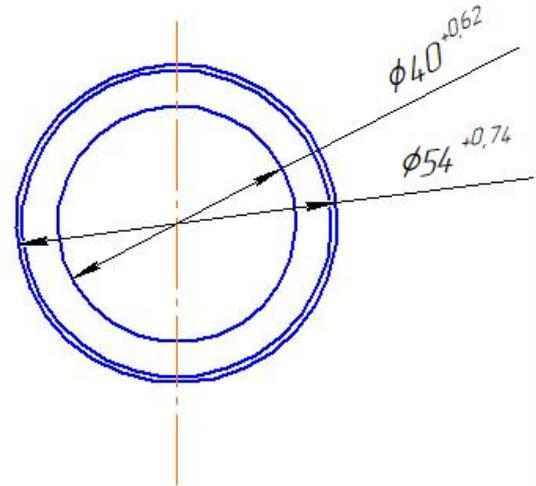
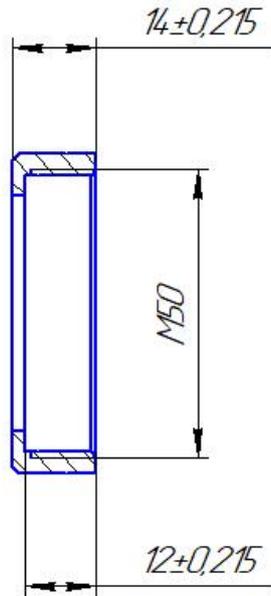
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
													1	СНИУ 6463.00.009	Корпус	1				
													2	СНИУ 6463.00.006	Вторая линза	1				
													3	СНИУ 6463.00.008	Гайка для второй линзы	1				
													4	СНИУ 6463.00.005	Первая линза	1				
													5	СНИУ 6463.00.007	Гайка для первой линзы	1				
СНИУ 6463.00.015																				
											Лит.			Лист			Листов			
																	1			
											<b>Коллиматор</b>						<b>СНИУ зр.6463</b>			
											Копировал						Формат А4			

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. ДЕТАЛИРОВКА



СНИУ 6463.00.017

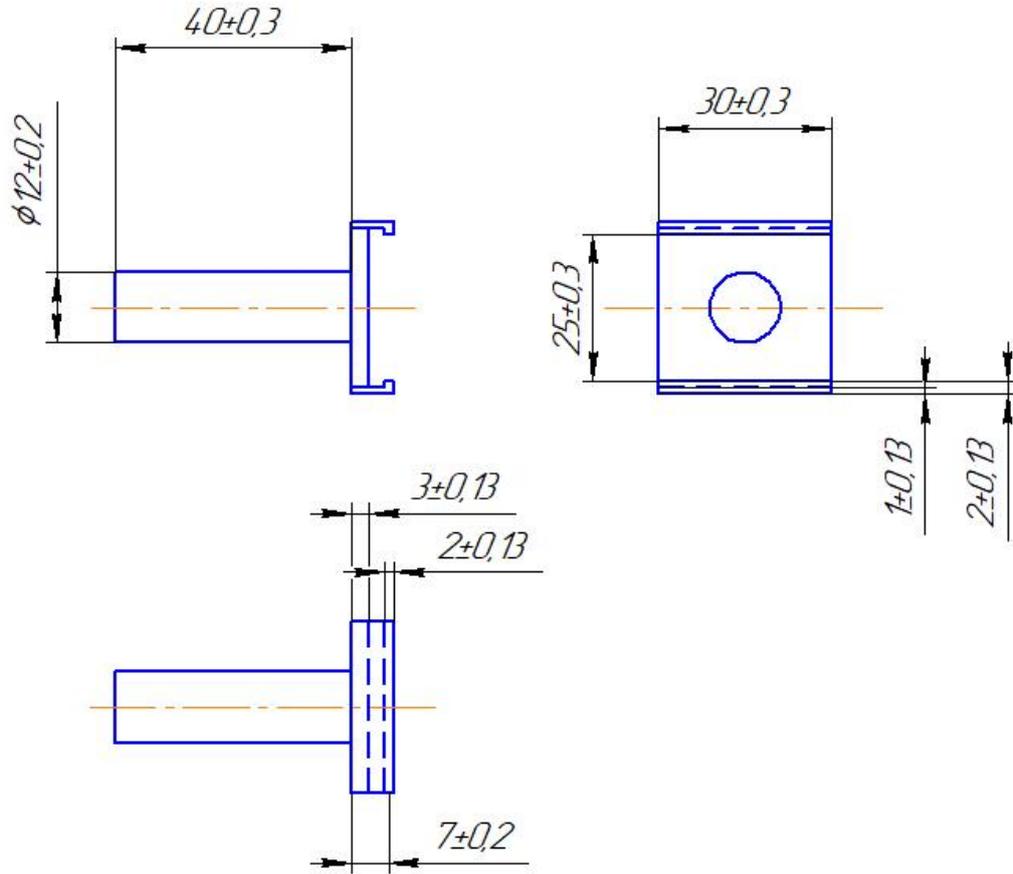
√ Rz25 (√)



Перв. примен.	СНИУ 6463.00.017				√ Rz25 (√)						
	Справ. №										
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	СНИУ 6463.00.017								
			Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Прижимная крышка				0,375	1:1		
				Алюминий АМГЗ			Лист		Листов 1		
				ГОСТ 5582-75			СНИУ зр.6463				
				Копировал			Формат А4				
				Утв. Тимченко Е.В.							

810'000'Э9+9 БИИЗ

√ Rz20 (√)



Перв. примен.					
Справ. №					
Подп. и дата					
Инв. № дубл.					
Взам. инв. №					
Подп. и дата					
Инв. № подл.					

СНИУ 6463.00.018

Крепление  
для зеркала

Фенопласт К-2-2  
ГОСТ 5689-79

Лит.	Масса	Масштаб
	0,182	1:1
Лист	Листов	1

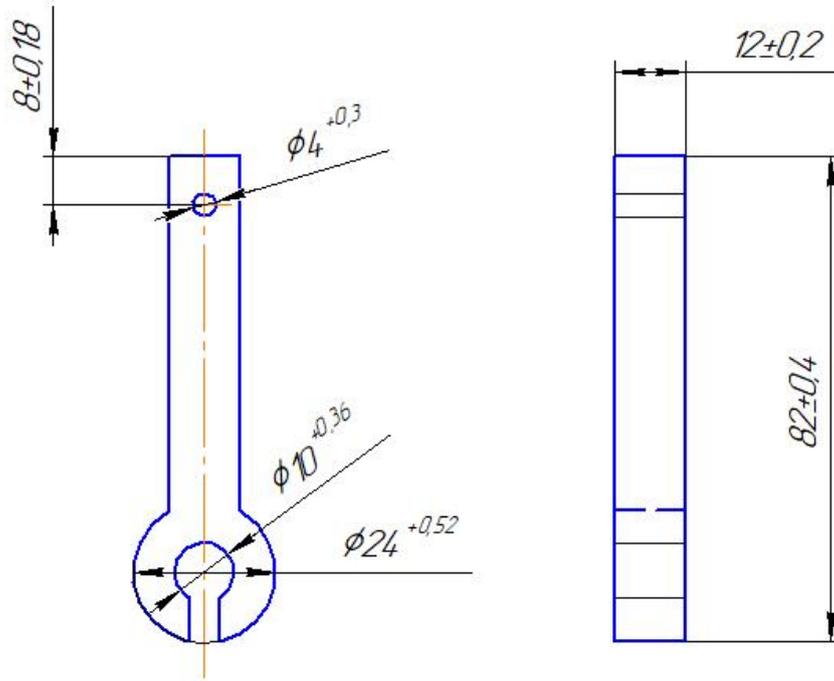
СНИУ гр.6463

Копировал

Формат А4

СНИУ 6463.00.019

$\sqrt{Rz20 (\sqrt{1})}$



Перв. примен.	СНИУ 6463.00.019				<p>СНИУ 6463.00.019</p> <p><math>\sqrt{Rz20 (\sqrt{1})}</math></p>					
	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	<p>СНИУ 6463.00.019</p> <p><b>Крепление</b></p> <p>Фенопласт К-2-2 ГОСТ 5689-79</p>	Лит.	Масса	Масштаб
Разр.	Карпова Е.В.								0,213	1:1
Проб.	Тимченко Е.В.						Лист	Листов	1	
Т.контр.							СНИУ зр.6463			
Н.контр.							Копировал			
Утв.	Тимченко Е.В.						Формат А4			

020'00'Э979 БИИД

$\sqrt{Rz20 (\sqrt{1})}$

Перв. примен.

Справ. №

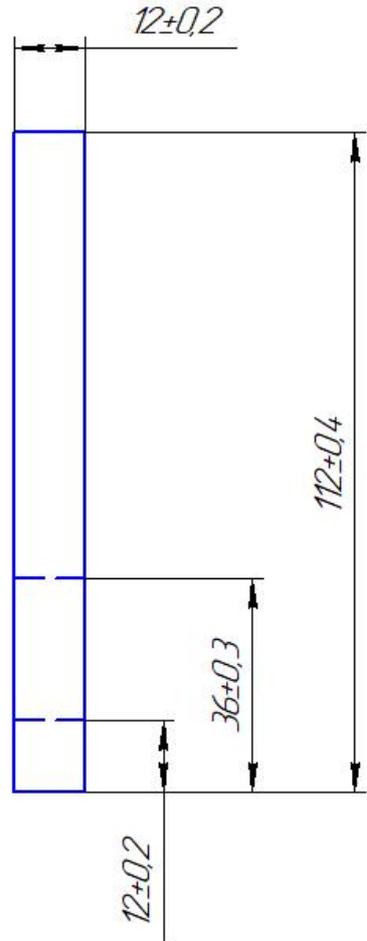
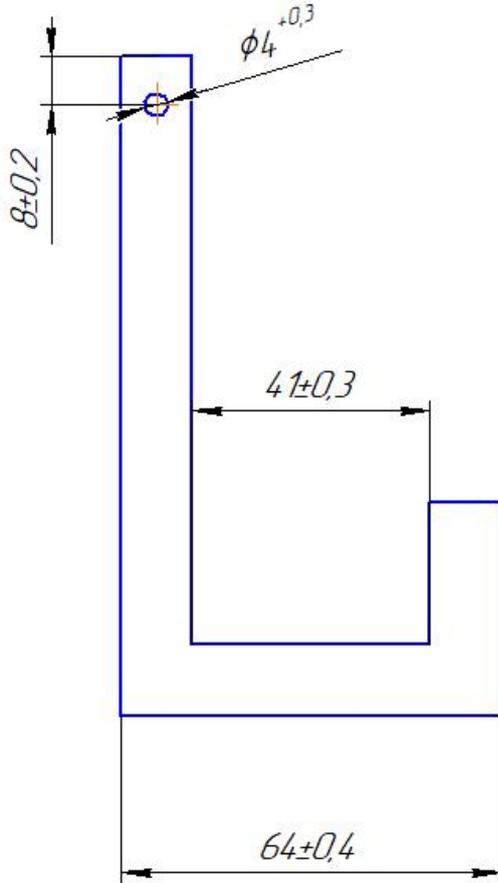
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.		Карпова Е.В.		
Проб.		Тимченко Е.В.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Тимченко Е.В.		

СНИУ 6463.00.020

Крепление  
лазера

Фенопласт К-2-2  
ГОСТ 5689-79

Лит.	Масса	Масштаб
	0,546	1:1
Лист	Листов	1

СНИУ зр.6463

Копировал

Формат А4