

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

*САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ*



ПОБЕДИТЕЛЬ КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗОВ

А.М. Бурбаев

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА  
ИСПЫТАНИЙ, КОНТРОЛЯ И ЮСТИРОВКИ  
ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Методические указания к лабораторному практикуму



**Санкт-Петербург**

**2007**

УДК 681.4.07

Бурбаев А.М. Методы и средства испытаний, контроля и юстировки оптических приборов. Методические указания к лабораторному практикуму. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2007. 112 с.

В методических указаниях рассматриваются методы и средства контроля и юстировки оптических приборов при обеспечении таких характеристик, как точность функционирования и качество изображения. Излагаются некоторые принципы разработки методик юстировки. Приводятся описания лабораторных установок и даются рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 200200 «Оптоэлектроника» и направлению подготовки дипломированных специалистов 200203 «Оптоэлектронные приборы и системы».

В 2007 году СПбГУ ИТМО стал победителем конкурса инновационных образовательных программ вузов России на 2007–2008 годы.



Реализация инновационной образовательной программы «Инновационная система подготовки специалистов нового поколения в области информационных и оптических технологий» позволит выйти на качественно новый уровень подготовки выпускников и удовлетворить возрастающий спрос на специалистов в информационной, оптической и других высокотехнологичных отраслях экономики.

© Санкт-Петербургский государственный университет и информационных технологий, механики и оптики, 2007  
© А.М. Бурбаев, 2007

## Лабораторная работа №9

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОНЯТИЙ БАЗИРОВАНИЕ И БАЗЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ЦЕНТРИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРА НА ПРИМЕРЕ ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВОГО ОБЪЕКТИВА СИСТЕМЫ МАКСУТОВА-КАССЕГРЕНА ШКОЛЬНОГО ТЕЛЕСКОПА

### 1. Задание и зачет по работе

1. Ознакомиться с оптической схемой, конструкцией и техническими характеристиками школьного телескопа ТМШ по чертежу (рис.9.1) и описанию конструкции, приведенному в монографии Г.В. Погарева [1].
2. Проанализировать предложенный конструкцией метод обеспечения необходимой точности взаимной установки оптических компонентов объектива, опираясь на понятия центрированной оптической системы и базовой оси [1,2], для чего:
  - a. определить базовую деталь конструкции и, выполнив ее эскиз, обозначить в ней базы, ответственные за центрирование компонентов объектива;
  - b. задать технические требования к изготовлению базовой детали, указав примерные допуски (чтобы не прибегать к трудоемким расчетам – не строже производственного уровня точности) на размеры и взаимное расположение баз;
  - c. выполнить упрощенные эскизы оправ мениска и главного зеркала, обозначив в них базы, ответственные за центрирование компонентов объектива, и указав примерные допуски;
  - d. выполнить эскизы мениска и главного зеркала, задав децентрировку одним из допусков: позиционным, формы заданной поверхности или перпендикулярности [3], - исходя из представленной (или предложенной самим студентом к модернизации) конструкции и принимаемого метода центрирования компонентов;
  - e. дать определение понятию «оптическая ось главного сферического зеркала», которое соответствовало бы выбранному методу центрирования компонентов.
3. Предложить методику юстировки объектива, выделив операции центрирования и фокусирования компонентов.
4. Под руководством преподавателя разобрать объектив и на основании дополнительной информации о конструкции уточнить (подтвердить или скорректировать) сделанные ранее выводы (или принятые решения)

относительно назначенных допусков и методики центрирования компонентов.

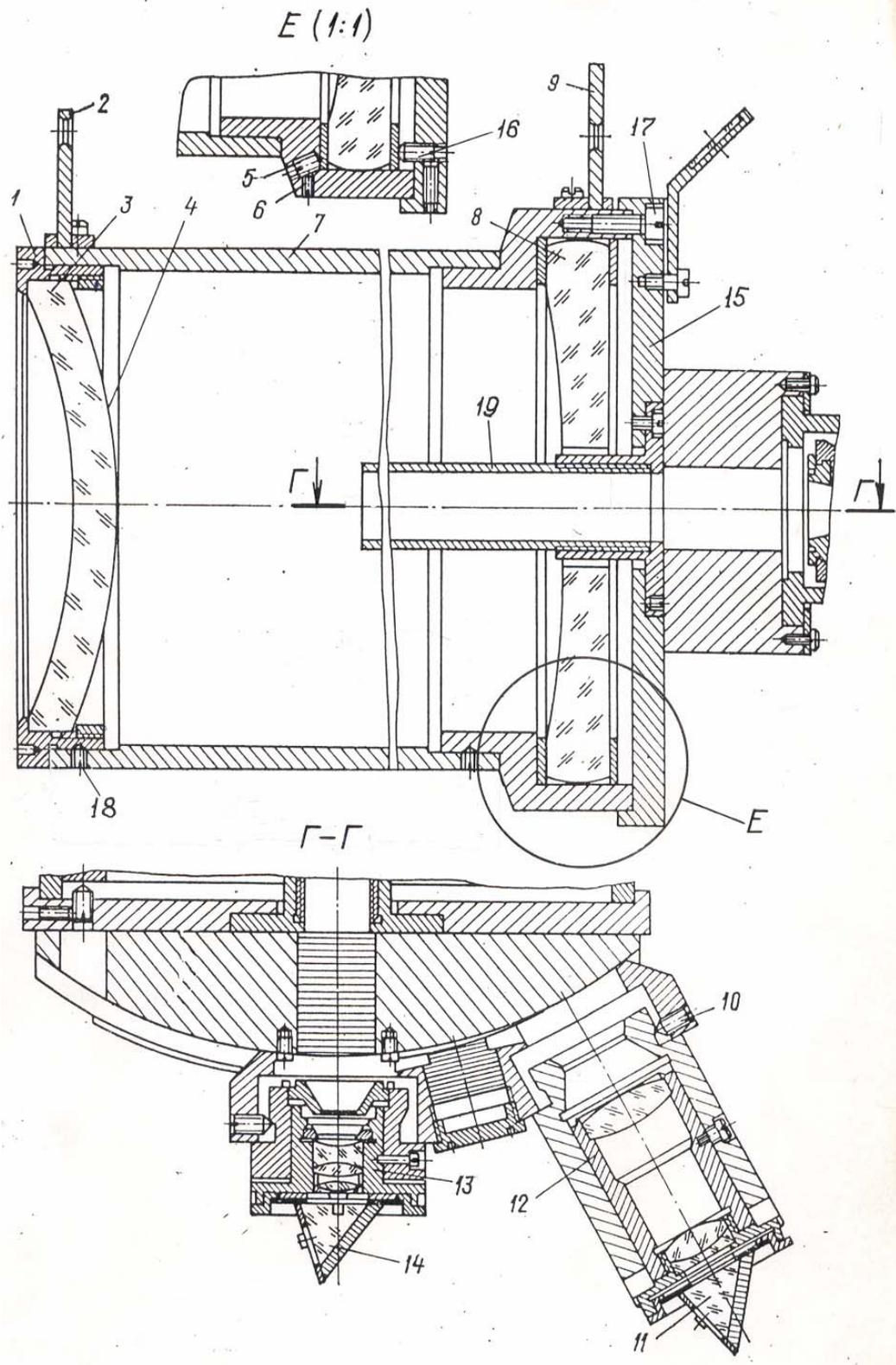


Рис.9.1. Конструкция трубы школьного телескопа ТМШ

5. Выполнить операцию предварительной (геометрической) юстировки главного сферического зеркала, доказав обоснованность предложенного метода центрирования.

6. Собрать объектив и, установив его на оптической скамье, с помощью микроскопа оценить качество центрировки его компонентов по качеству изображения штриховой миры №3 ГОИ и дифракционному изображению точки. Определить предельно разрешаемый элемент миры №2 и по таблице (на стр. 10 [4]) найти угловой предел разрешения объектива. Сравнить найденное значение с величиной теоретического значения разрешающей способности, а также с величиной, указанной в техническом описании.

**Отчет по лабораторной работе должен содержать:**

- 1) эскизы деталей, перечисленных в пункте 2, с техническими требованиями и допусками;
- 2) расчет величины децентрировки вторичного зеркала по отношению к базовой оси, заданной корпусом (базовой деталью);
- 3) схему контроля при выполнении предварительной юстировки;
- 4) схему контроля качества изображения на оптической скамье и результаты контроля;
- 5) выводы по работе.

## **2. Комплект установки**

1. Объектив школьного телескопа ТМШ (без окуляров).....1 шт.
2. Торцовая автоколлимационная трубка ПК-179000 с автоколлимационной ценой одного деления 1' (угл. мин.).....1 шт.
3. Столик стальной круглый с доведенной до зеркального состояния плоскостью (из комплекта ЗИП оптиметра ИКВ-3).....1 шт.
4. Столик с призматическими опорами для установки объектива на оптической скамье.....1 шт.
5. Микроскоп визирный с объективом 3,7×0,11 и сменными окулярами 7<sup>×</sup>, 10<sup>×</sup> и 15<sup>×</sup>, устанавливаемый на оптической скамье и имеющий три степени подвижности .....1 шт.
6. Отвертки под винты трех размеров.....1 компл.
7. Чертеж телескопа и техническое описание.....1 компл.
8. Салфетка фланелевая.....1 шт.

## **3. Исходные положения**

В технологии машиностроения понятия базирование и базы без преувеличения могут быть отнесены к фундаментальным. Государственный стандарт [5] в качестве исходного принимает понятие «базирование» и определяет его как «придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат». В оптическом приборостроении именно надлежащим базированием схемных элементов достигают требуемого качества функционирования оптической системы в

соответствии с расчетом оптика-конструктора. При этом способами достижения требуемого базирования оптических элементов являются регулировка и пригонка. Однако наиболее предпочтительным способом базирования схемных элементов является базирование путем ограничения допусков на размеры деталей, на отклонения формы и взаимного расположения поверхностей деталей.

В течение достаточно долгого времени в оптическом приборостроении отсутствовал единый подход к заданию на чертежах допусков на децентрировку линз. Величины  $C_A$ ,  $C_B$  и  $C$ , предусмотренные ГОСТ 2.412-68 «Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий» ЕСКД для обозначения децентрировки, могли быть определены только путем сложнейшего анализа и последующего расчета по величинам, полученным при измерении параметров децентрировки существующими методами контроля [2]. Нормативно-техническая документация не охватывала понятия децентрировки для случаев склеенной линзы или линзы (оптической детали), закрепленной в оправе.

В настоящее время под децентрировкой оптической детали следует понимать смещение каждого центра кривизны сферической поверхности с **базовой оси**. Такое понятие децентрировки, предложенное Ю.А. Степиным и Е.А. Васильевым [2], дает возможность просто, надежно и с достаточно высокой точностью (например, автоколлимационным методом) проконтролировать величину децентрировки. При этом под базовой осью понимают ось вращения детали, заданную базовой поверхностью (например, цилиндрической) или совокупностью базовых поверхностей. В этом случае в чертеже оптической детали или сборочной единицы в качестве требований технических условий будет, например, указано: «...децентрировка поверхности А при опоре на поверхности Б и В не более 0,01 мм». Такой подход способствует наиболее рациональному распределению допуска на децентрировку, повышению технологичности конструкций.

Идея использования понятия «базовая ось» может оказаться благотворной для обеспечения центрирования оптической системы, состоящей не только из линзовых компонентов, но также из зеркал и отражательных призм.

При анализе конструкции прибора с точки зрения технологии его сборки и центрирования оптической системы изделие разбивают на составные части (крупные узлы). В каждой такой части (узле) всегда выделяют базовую деталь (или сборочную единицу), которая несет на себе (связывая между собой) детали и содержащие схемные элементы сборочные единицы, образующие функционально законченную сборочную единицу следующего уровня. Своими поверхностями (конструкторскими базами) базовая деталь обеспечивает (нередко в полной мере) требуемое взаимоположение присоединяемых схемных элементов, что является

необходимым условием правильного функционирования оптической системы.

Но, кроме того, базообразующие схемные элементы прибора, такие, например, как шкалы (реплики дифракционных решеток), лимбы, экраны визирных и отсчетных устройств, окуляры, головные призмы, зеркала и объективы устройств наблюдения, измерения и прицеливания, обязаны занимать вполне определенное положение по отношению к основным базам изделия. В зависимости от назначения изделия такими базами могут являться: плоскости оснований и направляющих, геометрические оси труб, стоек, колонок и корпусов, оси вращения валов, планшайб и других подвижных частей конструкции и другие.

Таким образом, базовая деталь (как, впрочем, и любая другая) должна располагать:

а) основной базой – конструкторской базой, используемой для определения ее собственного положения в изделии, и

б) сопряженными базами – конструкторскими базами, используемыми для определения положения присоединяемых к ней деталей и сборочных единиц.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** В ГОСТе 21495-76 дается иное название второй группы баз, а именно – вспомогательные базы. Такое название не отвечает сути базирования и, по мнению автора этих строк, является крайне неудачным.

Именно благодаря сопряжению конструкторских баз, определяющих положение схемных элементов (и не только оптических) с основной конструкторской базой – посредством размеров и допусков взаимного расположения - обеспечивается упомянутое выше заданное положение схемных элементов по отношению к основным базам изделия.

Создавая чертеж ответственной детали и указывая в нем необходимые технические требования, опытный конструктор одновременно обдумывает и технологию ее изготовления, а также метод контроля нормируемых отклонений. Позднее уже другой специалист – технолог – решает задачу изготовления этой детали, опираясь на собственный опыт и реальные производственные условия. При этом он может избрать для базирования заготовки в процессе изготовления детали те поверхности (возможно даже не обозначенные конструктором), которые диктуются выбранной им технологией изготовления и требуемой точностью. Конечно же, на всех этапах изготовления изделия все специалисты – и конструктора и технологи – должны руководствоваться одним из основных принципов – принципом единства и совмещения баз: конструкторских, технологических и измерительных.

Таким образом, реальная деталь, прошедшая цепь технологических операций, нередко приобретает новые свойства, прежде не отраженные на чертеже. Эти свойства заключаются в появлении технологических баз, в ужесточении допусков на отдельные размеры и взаимное расположение

поверхностей, не имевших по замыслу конструктора принципиального значения. Вместе с ранее назначенными базами новые технологические базы могут с успехом использоваться в роли измерительных и проверочных баз в процессе центрирования оптической системы прибора.

#### 4. Порядок выполнения работы

1. Под руководством преподавателя и, действуя сообразно чертежу, разобрать объектив в следующей последовательности:
  - а) снять узел оправы 1 с мениском 3, предварительно вывернув три стопорных винта 18;
  - б) снять заднюю крышку 15 совместно с закрепленной на ней блендой 19, отвернув три винта 17;
  - в) накрыв ладонью отверстие корпуса телескопа и опрокинув его, аккуратно достать зеркало 8.
2. Оценить характер сопряжения деталей и узлов с оправами и корпусом трубы, обратив внимание на величину зазора, форму и шероховатость поверхности.
3. Обратить внимание на выполнение принципа статической определимости в конструкции крепления и регулирования главного зеркала.
4. Выполнить операцию предварительной (геометрической) юстировки главного зеркала. Однако сначала следует установить его в оправу таким образом, чтобы середины трех наклеенных на зеркало (с двух сторон) станиолевых подпятников (тонких стальных пластинок) легли на три регулировочных винта 5, в свою очередь установленных в среднее положение. Контроль установки зеркала выполняют по схеме, приведенной на рис. 9.2.

Здесь в качестве измерительной базы принят передний торец трубы телескопа, перпендикулярный геометрической оси ее цилиндрической поверхности «А», выбранной в качестве базовой оси. Задняя же, нерабочая плоскость зеркала «В», выполнявшая в процессе его изготовления роль технологической базы, используется здесь при юстировке в качестве проверочной конструкторской базы. Именно на эту плоскость установлено средство контроля – торцовая автоколлимационная трубка.
5. Собрать объектив в следующей последовательности:
  - а) сохранив вертикальное расположение корпуса телескопа, установить на корпус заднюю крышку 15, предварительно вывернув до уровня внутренней плоскости крышки три прижимных винта 16;
  - б) закрепить крышку на корпусе тремя винтами 17, осуществляя постепенное их затягивание;

- в) завернуть по резьбе три винта 16 до легкого прикосновения их с зеркалом;
- г) установить в корпус 7 оправу 1 мениска таким образом, чтобы засверленные лунки на оправе оказались напротив резьбовых отверстий под стопорные винты 18, и зафиксировать ими оправу мениска;
- д) проверить качество фиксации деталей по отсутствию соответствующего звучания при легком постукивании по корпусу.

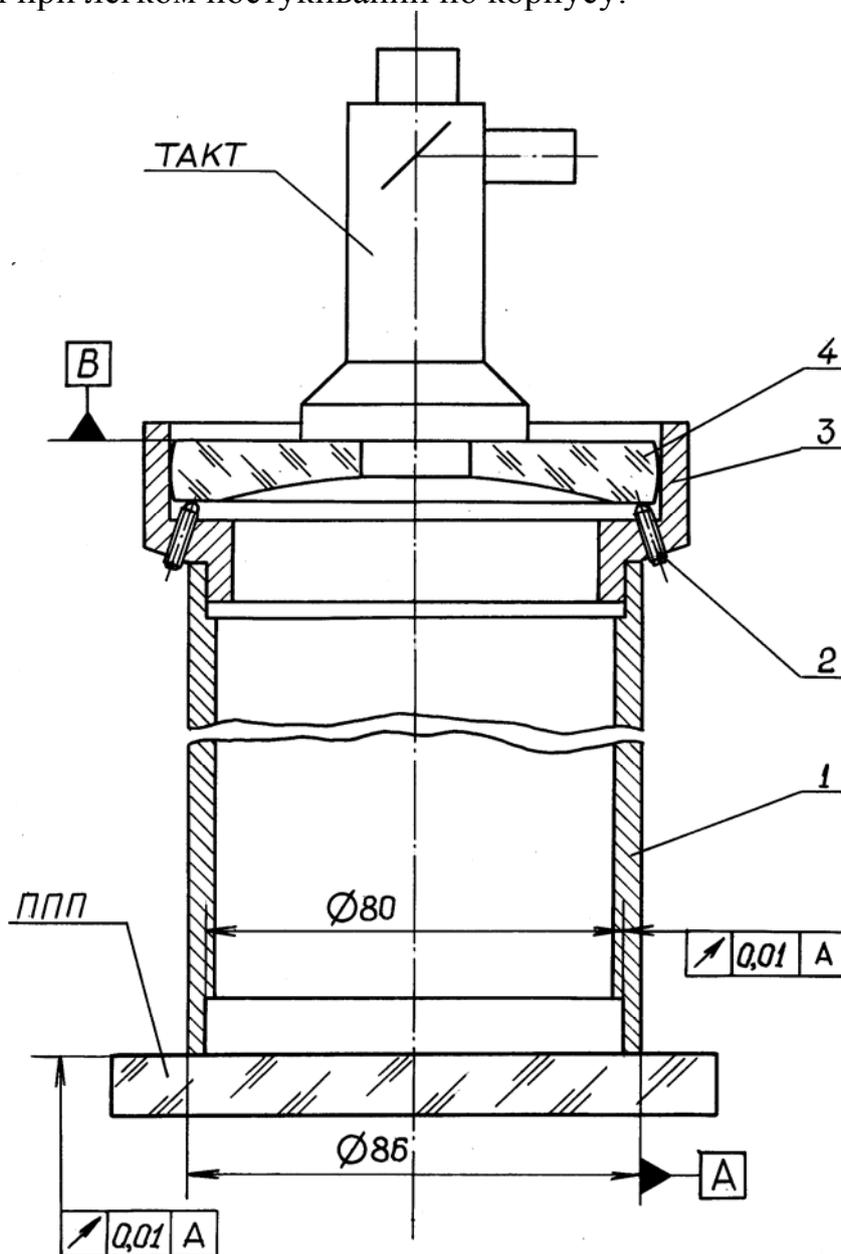


Рис. 9.2. Схема контроля в процессе предварительной юстировки главного сферического зеркала телескопа:  
 1- корпус трубы; 2 – три опорных регулируемых винта;  
 3 – оправа зеркала; 4 – зеркало;  
 ТАКТ – торцовая автоколлимационная трубка;  
 ППП – плоскопараллельная пластина.

6. Установить объектив на оптической скамье с помощью столика с призматическими опорами. Предварительно ребро призматических опор должно быть установлено параллельно визирной оси коллиматора.
7. Наблюдать с помощью папиросной бумажки, приложенной к выходному отверстию бленды, светящееся изображение миры №3 ГОИ, установленной в коллиматоре. Если это изображение срезано краями бленды, то, действуя соответствующей парой юстировочных винтов 5 и 16, добиться симметричного расположения изображения миры по отношению к выходному отверстию бленды.
8. Сфокусировать микроскоп на плоскость изображения миры №3 и оценить общее качество изображения по четкости штрихов миры и отсутствию двоения и «хвостов».
9. Установить в коллиматоре миру №2 ГОИ и определить предельно разрешаемый элемент этой миры. По таблице найти угловой предел разрешения объектива и сравнить его с данными, приведенными в техническом описании, а также с величиной теоретического значения этой величины.
10. Установить в коллиматор точку и оценить качество центрировки системы, а также общее качество изображения по дифракционному изображению точки.

## **5. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы**

1. Приведите классификацию баз в соответствии с ГОСТ 21495-76 «Базирование и базы в машиностроении» и дайте определения этим понятиям.
2. Что следует понимать под центрированием оптической системы прибора?
3. Почему для оценки децентрировки системы более приемлемо понятие базовой оси, нежели оптической оси?
4. Каким допуском следует задать децентрировку мениска в системе школьного телескопа?
5. Перечислите оптические базы, которые могут использоваться при центрировании оптической системы прибора.
6. В чем преимущество в применении технологических и проверочных баз перед оптическими базами, и могут ли они при юстировке заменить собой оптические базы?
7. Дайте определение понятию оптическая ось сферического зеркала.
8. Как проконтролировать, что при фиксации оправы 1 мениска с помощью стопорных винтов 18 ее торец поджимается к торцу корпуса трубы, без чего выбранный способ соединения не решает задачи базирования?
9. Перечислите достоинства менисковой системы Кассегрена.

10. Как в оптической системе менискового Кассегрена решены проблемы коррекции aberrаций: хроматизма, сферической aberrации, комы?

## 6. Литература

1. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов.- 2-е изд., перераб. и доп.- Л.: Машиностроение, 1982.- 237 с.
2. Степин Ю.А., Васильев Е.А. Децентрировка. Определение и методы измерения // Оптико-мех. пром-сть. 1974. №9. С. 50-56.
3. ГОСТ 2.412-81. Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий (СТ СЭВ 139-74).
4. ГОСТ 15114-69. Телескопические системы. Визуальный метод определения предела разрешения.
5. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении.
6. Бурбаев А.М. Отработка технологичности конструкций оптических приборов. Учебное пособие.-СПб: СПбГУ ИТМО, 2004 – 95с.