

Регламентация конструкторских работ при проектировании ОЭП. Конструкторская документация

Организация процесса проектирования определяется степенью новизны и сложностью решаемой задачи.

В зависимости от степени новизны различаются:

- **Частичная модернизация** существующего прибора приводит к некоторому улучшению одного или нескольких показателей качества за счет изменения параметров, улучшения элементной базы, частичного изменения структуры и т.п.

- **Существенная модернизация** приводит к значительному улучшению основных показателей качества прибора за счет существенного изменения параметров и структурной схемы, приводящих к большим конструктивным изменениям.

- **Создание нового прибора**, предназначенного для решения известных или принципиально новых задач и основанного на новых принципах действия, использование которых позволяет резко улучшить основные показатели качества.

При создании новых ОЭП процессу собственно проектирования – опытно-конструкторским работам (**ОКР**) – обычно предшествуют научно-исследовательские работы (**НИР**).

Целью **НИР** является решение проблемных вопросов, позволяющее обосновать возможность и целесообразность дальнейшего проектирования, получить необходимую исходную информацию и тем самым предотвратить значительные затраты на проведение проектных работ в случае, когда поставленная задача не может быть решена предлагаемыми средствами.

Последовательность разработки и изготовления промышленных изделий в настоящее время регламентируется группой государственных стандартов, входящих в **Единую систему конструкторской документации (ЕСКД)**.

ЕСКД устанавливает единый порядок разработки, выполнения, оформления, согласования, внесения изменений, учета и хранения конструкторской документации.

Проектирование ОЭП ведется на основании технического задания **(ТЗ)**.

Согласно **ГОСТ 2.103 - 2013** **этапы** проектно – конструкторской работы и **стадии разработки** конструкторской документации (**КД**) выполняются в последовательности, показанной на **рис. 1**.

Рассмотрим вкратце содержание этапов и совокупность разрабатываемой конструкторской документации (**КД**) применительно к оптико-электронным приборам (ОЭП).

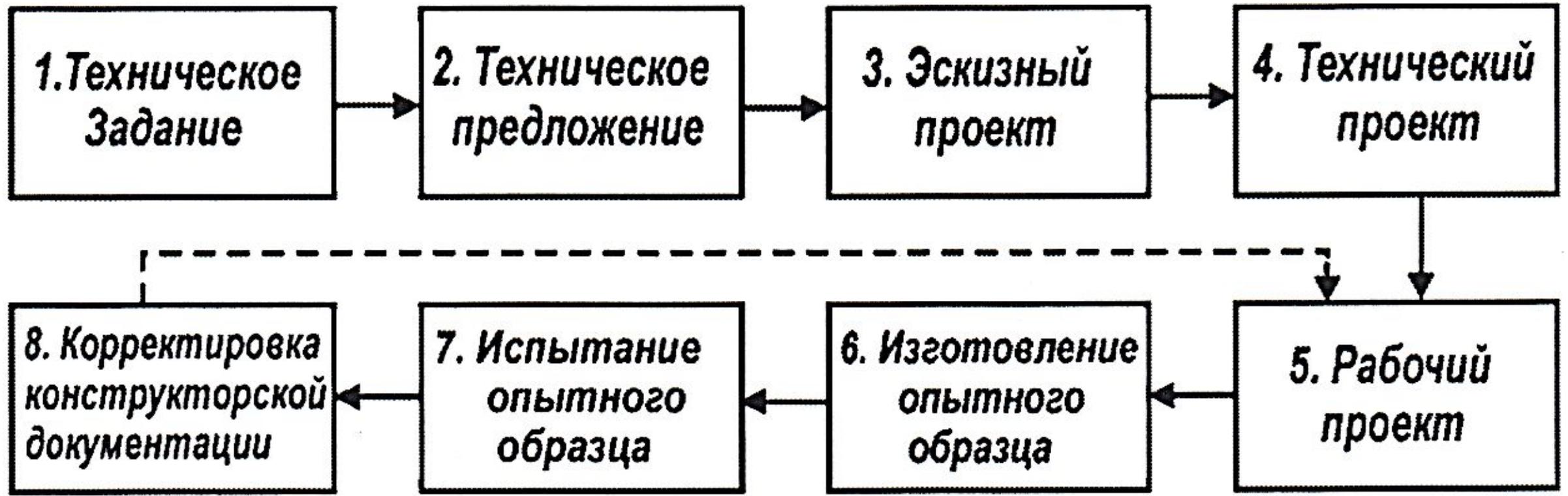


Рис. 1. Этапы проектно – конструкторской работы

Следует отметить, что в зависимости от назначения и области применения прибора (системы), необходимых сроков разработки, а также в связи с внедрением современных методов системного и автоматизированного проектирования последовательность и содержание этапов могут изменяться.

Для ускорения процесса проектирования иногда могут быть совмещены технический и рабочий проекты.

Однако при создании большинства современных приборов указанная последовательность проектирования выдерживается.

Техническое задание (ТЗ) - документ, с которого начинается разработка любого ОЭП, устанавливающий его основное назначение, область применения, технические и технико-экономические показатели качества, состав, условия и режимы эксплуатации, этапы и сроки выполнения работ.

ТЗ составляется организацией - заказчиком при возможном участии и согласовании с организацией - исполнителем.

Техническое предложение (ТП) является первоначальной стадией разработки конструкторской документации. ТП разрабатывают в целях выявления дополнительных или уточненных технических и эксплуатационных требований к прибору, которые не были отражены в ТЗ и для обоснования которых целесообразно выполнить предварительную конструкторскую проработку и анализ различных вариантов решения.

Объем работ по этому этапу отражен в **ГОСТ 2.118-2013**.

Стадия «Техническое предложение» не распространяется на КД, разрабатываемую по заказу Министерства обороны.

На этом этапе выполняются расчеты, подтверждающие работоспособность того или иного решения. Некоторые решения проверяются путем экспериментальных исследований на макетах.

Результатом работ на данном этапе должны быть:

- **Техническое задание**, сформулированное с учетом положений, выявленных в процессе теоретических и экспериментальных исследований (**уточненное ТЗ**).
- **Конструкторская документация (КД)**, дающая обобщенное представление о выявленных технических решениях.

Следует уже при проведении данного этапа проектирования стремиться к выбору оптимального варианта прибора, так как это позволит избежать ненужных затрат на последующих этапах и ускорит проектирование.

В случае невозможности такого выбора необходимо установить дополнительные требования к последующим этапам.

После рассмотрения и утверждения технического предложения его материалы служат основой для проведения последующих этапов проектирования.

Выпускаемая на этом этапе **КД** содержит:

- функциональные схемы возможных вариантов решений ОЭП;
- упрощенные чертежи общего вида;
- ведомость технического предложения;
- патентный формуляр;
- пояснительную записку.

Эскизное проектирование (ЭП) является проектной стадией разработки КД, разрабатываемой в соответствии с ТЗ с целью получения принципиальных конструктивных решений выбранного варианта ОЭП, дающих общее представление о принципе работы и устройстве прибора, его основных характеристиках.

Объем работ этого этапа отражен в **ГОСТ 2.119–2013**.

На этом этапе выполняются все необходимые расчеты ОЭП: параметрический, оптический, светотехнический, точностной и др.

Выпускаемая **КД** содержит:

- основные схемы ОЭП (оптическую, кинематическую, электрическую);
- чертежи общего вида (с возможными упрощениями) и наиболее важных сборочных единиц, дающие представление о компоновке прибора и взаимодействии его частей;
- пояснительную записку с результатами расчетов, сведениями о технико - экономических характеристиках ОЭП, дополнительными результатами патентных исследований и т. д.

Эскизный проект рассматривается заинтересованными организациями и защищается в установленном порядке.

Выявленные в результате рассмотрения и защиты замечания либо устраняются, либо по ним намечаются мероприятия для последующих этапов проектирования, после чего утверждается протокол о защите.

Технический проект является проектной стадией разработки КД и его следует разрабатывать в соответствии с ТЗ с целью выявления окончательных технических решений, дающих полное представление о конструкции ОЭП.

Объем работ этого этапа отражен в **ГОСТ 2.120–2013**.

Основные виды работ при проведении ТП:

- детальная разработка конструкции всего прибора и его составных частей;

- разработка принципиальных схем, схем соединений;
- составление номенклатуры покупных изделий;
- согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров;
- анализ конструкции прибора и его узлов на технологичность;
- принятие решений о выборе средств контроля, монтаже, хранении и транспортировке ОЭП.

Как правило, разработка технического проекта сопровождается большим объемом **макетирования**.

Макеты создаются с целью проверки основных конструктивных и схемных решений прибора или его составных частей по пространственно-кинематическому взаимодействию с другими изделиями и составными частями между собой, а также для подтверждения окончательно принятых решений.

Выпускаемая **КД** включает:

- чертежи общего вида и сборочных единиц;
- габаритный чертеж;
- чертежи всех схем;
- ведомость покупных изделий;
- патентный формуляр;
- пояснительная записка и др.

Рабочий проект выполняется с целью создания и отработки полного комплекта конструкторской документации ОЭП, достаточной для изготовления **опытного образца** оптико-электронного прибора.

Опытный образец - образец продукции, изготовленный при выполнении ОКР по новой разработанной рабочей конструкторской и технологической документации для проверки посредством испытаний соответствия его параметров и характеристик заданным техническим требованиям и правильности технических решений, а также для принятия решения о возможности постановки на производство и (или) использования по назначению.

Основные виды работ при РП:

- выполнение чертежей всех деталей конструкции опτικο-электронного прибора;
- разработка требований и методики его сборки, юстировки и испытаний;
- составление технического описания и инструкции по эксплуатации прибора, его формуляра и технического паспорта (содержащего сведения о характеристиках ОЭП, результатах его испытаний, составе комплекта, гарантии и т. п.);

- разработка технологических процессов изготовления наиболее сложных и ответственных деталей.
- составление ведомостей покупных изделий, марок и сортаментов материалов, запасных инструментов, принадлежностей и т. п.

Рабочие чертежи должны обеспечивать возможность оптимального применения:

- стандартных и покупных изделий;
- рационально ограниченную номенклатуру материалов;
- необходимую степень взаимозаменяемости.

Рабочее проектирование может выполняться как самостоятельный этап, но иногда для ускорения процесса проектирования его начинают на этапе технического проекта (технорабочий проект).

В процессе **РП** выполняются контрольно-сборочные чертежи узлов и прибора в целом для выявления ошибок в рабочих чертежах деталей до их изготовления и сборки.

Контрольно-сборочный чертеж вычерчивают по рабочим чертежам деталей путем считывания всех необходимых размеров, проверки правильности простановки допусков на сопрягаемые детали и тщательного переноса размеров в соответствии с необходимым масштабом на поле чертежа.

Рабочие чертежи деталей и сборочные чертежи являются основной документацией, руководствуясь которой можно осуществить изготовление **опытного образца** прибора.

Дополнением к ним являются технические условия, содержащие все отсутствующие в чертежах, но необходимые для изготовления и отладки технические требования, а также требования на приемку и испытания.

После подготовки и утверждения всей необходимой документации **изготавливается опытный образец или партия приборов.** Изготовленные образцы передаются на **всесторонние испытания.**

Всесторонние испытания изготовленных образцов позволяют сделать заключение о соответствии прибора ТЗ, выявить возможные недостатки проекта и устранить их путем **корректировки** или **доработки КД.**

Следует заметить, что не все из перечисленных этапов обязательны к выполнению как самостоятельные, например может быть исключен **эскизный проект**, **объединены технический и рабочий проекты.**

Конструкторская документация

“

Конструкторские документы (КД) – графические и текстовые документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта, утилизации.

На всех этапах жизненного цикла (разработка - производство - эксплуатация) ОЭП сопровождается **технической документацией (ТД)**.

Состав этой документации и ее содержание регламентируется Государственными стандартами.

В настоящее время в РФ действует большое количество стандартов, которые сгруппированы по направлениям жизненного цикла изделий в следующие комплексы:

- единая система конструкторской документации (**ЕСКД**);

- единая система технологической документации (**ЕСТД**);
- единая система программной документации (**ЕСПД**);
- единая система технологической подготовки производства (**ЕСТПП**);
- единая система защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений (**ЕСЗКС**)
- и др.

Единая система конструкторской документации

Государственные стандарты, входящие в **ЕСКД (ГОСТ 2.102-2013)**, устанавливают взаимосвязанные единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторской документации на изделия, разрабатываемые и выпускаемые предприятиями всех отраслей промышленности.

Стандартам **ЕСКД** присваивают обозначения по классификационному принципу.

Номер стандарта составляется из цифры, присвоенной классу стандартов **ЕСКД**, одной цифры после точки, обозначающей классификационную группу стандартов в соответствии с **таблицей 1**, числа, определяющего порядковый номер стандарта в данной группе, и двузначной цифры (после тире), указывающей год регистрации стандарта.

Таблица 1. Перечень классификационных групп стандартов ЕСКД

Шифр группы	Содержание стандартов в группе
0	Общие положения
1	Основные положения
2	Классификация и обозначение изделий в КД
3	Общие правила выполнения чертежей
4	Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения
5	Правила обращения КД (учет, хранение, дублирование, внесение изменений)
6	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации
7	Правила выполнения схем
8	Правила выполнения документов строительных, судостроительных и горных дел
9	Прочие стандарты

Например, обозначение стандарта ЕСКД «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» имеет вид **ГОСТ 2.701-2008**:

ГОСТ - категория нормативно-технического документа (государственный стандарт)

2 – класс (стандарты ЕСКД)

7 – классификационная группа стандартов

01 – порядковый номер стандарта в группе

2008 – год регистрации стандарта

Разработка и изготовление любого ОЭП связаны с выпуском **КД**, которая полностью и однозначно определяют все необходимые и достаточные данные для изготовления, настройки и юстировки, приемки, эксплуатации и ремонта как всего прибора в целом, так и его составных частей.

Согласно действующему стандарту (**ГОСТ 2.102-2013**) к конструкторской документации относятся следующие графические и текстовые документы:

- **чертеж детали**, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля;
- **сборочный чертеж (СБ)**, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки и контроля;

- **чертеж общего вида (ВО)**, определяющий конструкцию прибора, взаимодействие его основных составных частей и поясняющий принцип работы изделия;
- **теоретический чертеж (ТЧ)**, определяющий геометрическую форму прибора и координаты расположения составных частей;
- **габаритный чертеж (ГЧ)**, представляющий собой контурное (упрощенное) изображение прибора с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

- **монтажный чертеж (МЧ)** – упрощенное изображение прибора с данными, необходимыми для его установки на месте эксплуатации;
- **схемы** по действующему стандарту (**ГОСТ 2.701-2008**), на которых показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними;
- **спецификация** – документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта;

- **ВЕДОМОСТИ:**

- спецификаций **(ВС)**;
- ссылочных документов **(ВД)**;
- покупных изделий **(ВП)**;
- согласования применения изделий **(ВИ)**;
- держателей подлинников **(ДП)**;
- технического предложения **(ПТ)**;
- эскизного проекта **(ЭП)**;
- технического проекта **(ТП)**;

- **пояснительная записка (ПЗ)** содержит описание прибора и принципа его действия, а также обоснование принятых при разработке прибора технических и технико-экономических решений;
- **технические условия (ТУ)** содержат требования к прибору и его составным частям и деталям (назначение, области применения прибора, условия эксплуатации; состав комплекта прибора и др.);
- **программа и методика испытаний (ПМ);**
- **патентный формуляр (ПФ);**

- **карта технического уровня и качества изделия (КУ)**, характеризующая уровень качества прибора, соответствие его технических и экономических показателей достижениям науки и техники и потребностям народного хозяйства;
- **таблицы (ТБ)**;
- **расчеты (РР)**;
- **инструкции (И)**, представляющие собой документы, используемые при изготовлении прибора (сборке, регулировании, контроле, приемке и т.п.).

Помимо **конструкторских документов** в соответствии с действующим стандартом (**ГОСТ 2.601-2013**) разрабатывается **комплект эксплуатационных документов**, в том числе:

- **техническое описание (ТО)**, дающее общее представление о приборе, его технических характеристиках, принципе его работы и устройстве, комплектации и другие сведения;
- **инструкция по эксплуатации (ИЭ)**, которая может быть частью технического описания, но может быть и самостоятельным документом;

- **технический паспорт (ПС) и формуляр (ФО)** – документы, сопровождающие прибор в процессе эксплуатации;
- **ведомость ЗИП (ЗИ)** устанавливает номенклатуру, назначение и количество запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов, необходимых при эксплуатации и ремонте прибора;
- **ведомость эксплуатационных документов (ЭД).**

Технический паспорт включает основные номинальные технические характеристики прибора, результаты исследования технических характеристик, состав комплекта, свидетельство о приемке, положения о гарантиях и сведения о рекламациях, номер прибора и номера комплектующих изделий.

В **формуляре** наряду с основными сведениями, приведенными в паспорте прибора, даются сведения о режиме работы, учете времени эксплуатации, отметки о текущем состоянии прибора, его техобслуживании и ремонте.

Состав **ремонтных документов** определяется действующим стандартом **(ГОСТ 2.602-2013)**.

Эти документы предусматривают восстановление технических параметров прибора при эксплуатации на различных стадиях.

Важное место в конструкторской документации ОЭП принадлежит **схемам**.

В соответствии с действующим стандартом (**ГОСТ 2.701-2008**) виды схем обозначаются буквами, а их типы – цифрами.

В оптико-электронном приборостроении в основном используются **схемы следующих видов:**

Э – электрические

К – кинематические

Л – оптические

С – комбинированные

Схемы в зависимости от их типа имеют следующие обозначения:

1 – структурные

2 – функциональные

3 – принципиальные

4 – соединений

5 – подключений

6 – общие

7 – расположения

Например, **схема** электрическая функциональная имеет шифр **Э2**.

Специфическими конструкторскими документами ОЭП являются **комбинированная функциональная и оптическая принципиальная схемы**.

Функциональная комбинированная (рис. 2) схема иллюстрирует процессы преобразования сигналов, происходящие в функциональных цепях прибора и в приборе в целом. Она является основным документом, раскрывающим принцип работы прибора.

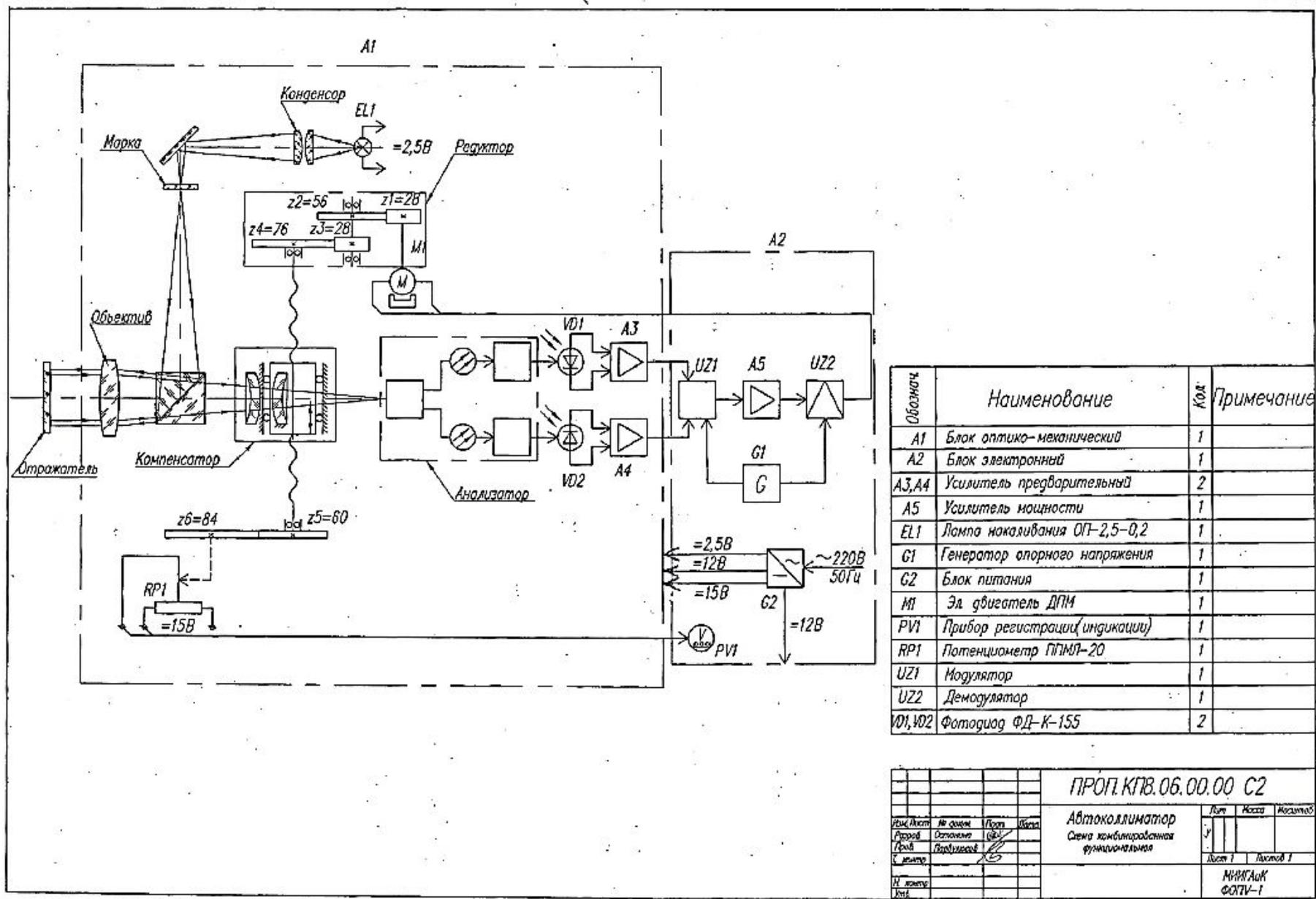


Рис. 2 Комбинированная функциональная схема

Функциональная схема выполняется без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей прибора либо не учитывается вообще, либо учитывается приближенно.

При ее выполнении могут быть использованы условные обозначения, применяемые при выполнении схем других видов.

Элементы и узлы схемы, являющиеся отдельными функциональными частями, допускается изображать в виде прямоугольников с указанием вида элемента и его характеристик.

При выполнении схемы необходимо пользоваться условными графическими изображениями, установленными **ГОСТами**.

При отсутствии соответствующего стандартизованного условного обозначения элемент на схеме изображают либо в виде, приближенно соответствующем его конструктивному исполнению, либо в виде прямоугольника, внутри которого написано название элемента.

Условные графические обозначения, стандартизованные или построенные на основе стандартизированных обозначений, на схемах не поясняются.

Элементы, составляющие функциональные группы или устройства, на схемах допускается выделять штрихпунктирными линиями, указывая внутри контура наименование или тип группы.

Для наглядности допускается изображать элементы схем различных видов, а также отдельные элементы и устройства, не входящие в данный прибор, но необходимые для пояснения принципа его работы.

Технические характеристики элементов или частей схемы следует указывать рядом с графическим обозначением или на свободном поле схемы.

На схеме могут быть поясняющие надписи, диаграммы, таблицы, определяющие последовательность процессов во времени.

Механические связи между элементами схемы указываются **штриховой** линией, **электрические и оптические** – **сплошной**.

Оптические схемы выполняются в соответствии с действующим стандартом (**ГОСТ 2.412-81**) в определенном масштабе.

При разработке ОЭП выполняются и другие схемы, перечисленные выше, если они необходимы.

Структурная схема определяет основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи.

Принципиальная схема (рис. 3) определяет полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дает детальное представление о принципах работы изделия.

Схема соединений показывает соединения составных частей изделия и определяет провода, жгуты и кабели, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединения и ввода (зажимы, соединители, фланцы).

Схема подключения показывает внешнее подключение изделия.

Общая схема определяет составные части комплекса и соединения их между собой на месте эксплуатации.

Схема расположения задает относительное положение составных частей изделия, а при необходимости проводов, жгутов, кабелей, светопроводов.

Все перечисленные схемы могут быть использованы при разработке других конструкторских документов, а также при эксплуатации приборов.

Правила выполнения схем регламентируются соответствующими стандартами **ЕСКД**, относящимися к 7-й группе.

При разработке рабочих чертежей деталей, сборочных, общих видов, габаритных и монтажных чертежей, при оформлении текстовых документов необходимо руководствоваться действующими стандартами:

- **ГОСТ 2.109-73.** Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам,
- **ГОСТ 2.106-96** Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

Кодирование и идентификация технической

документации. Для обеспечения документооборота внутри предприятия, беспрепятственного обмена документацией между предприятиями без ее переоформления, автоматизации разработки технической документации с унификацией машинно-ориентированных форм документов, совершенствования способов учета, хранения и изменения документации вводится код документа – уникальный для каждого документа цифро-буквенный код, однозначно соответствующий только этому документу.

В документ могут вноситься изменения, однако его код должен оставаться неизменным.

Факт внесения изменений вносится в **ведомость изменений**, являющуюся неотъемлемым приложением к документу.

Порядок формирования кода документа определяется в соответствующих классификаторах **ЕСКД**.

ГОСТ 2.201-80. Единая система конструкторской документации (**ЕСКД**). Обозначение изделий и конструкторских документов (с Поправками).

Настоящий стандарт устанавливает единую обезличенную классификационную систему обозначения изделий основного и вспомогательного производства и их конструкторских документов всех отраслей промышленности при разработке, изготовлении, эксплуатации и ремонте.

Кроме кода конструкторско-технологические документы характеризуются набором базовых показателей, представляемых для каждого документа в **штампе**, обычно располагающемся в правом нижнем углу документа.

Штамп – это своего рода формализованная визитная карточка документа, вид которой и принципы записи информации в которую стандартизованы.

Требования к оформлению чертежей оптических деталей

При изображении оптической детали используют общие правила машиностроительного и приборостроительного черчения, однако вследствие специфики назначения и изготовления оптической детали необходимо указать некоторые дополнительные сведения, а также особые нормативные и технологические требования.

Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий установлены действующим **ГОСТ 2.412-81**, требования и рекомендации по оформлению рабочих чертежей типовых оптических деталей изложены в справочниках оптика-конструктора и оптика-технолога.

Рассмотрим наиболее важные из них.

Оптические детали (также схемы и узлы) следует изображать на чертеже по ходу луча, идущего слева направо.

Радиусы кривизны сферических поверхностей деталей обозначают буквой ***R***, их выбирают по действующему стандарту (**ГОСТ 1807-75**) (что обусловлено контролем пробными стеклами и унификацией параметров инструмента).

Асферические поверхности линз и зеркал определяют координатами точек поверхности или уравнением кривой, использованной для ее построения.

Цилиндрические поверхности задают значением ее радиуса ***R***, перед которым пишут «**Цилиндр**».

В правой верхней части чертежа оптической детали помещают таблицу, состоящую из трех частей:

- **в первой части** отражены требования к материалу, из которого изготовлена оптическая деталь
- **во второй** – требования к изготовлению самой оптической детали
- **в третьей** – ее расчетные данные (для оптических сборочных единиц таблица состоит только из требований к изготовлению и оптических характеристик)

Первую часть таблицы заполняют в соответствии с **ГОСТ 23136-93 (Материалы оптические. Параметры)** и действующими техническими условиями на материалы.

В первой части таблицы для деталей из (например) **бесцветного оптического стекла** помещают следующие требования к материалу:

- категорию и класс по показателю преломления и средней дисперсии;
- категорию по оптической однородности;
- категорию по двойному лучепреломлению;

- категорию по показателю ослабления;
- категорию и класс бессвильности;
- группу, категорию и класс пузырности;
- категорию по радиационно-оптической устойчивости.

Некоторые из показателей качества оказывают влияние не только на оптические характеристики системы, но и на точность конструктивных параметров.

Например, **свилли** – области, отличающиеся от основной массы стекла химическим составом, а следовательно, оптическими и механическими свойствами – вызывают как деформацию волнового фронта отраженного или прошедшего излучения, так и местные погрешности формы поверхности в тех участках, где они выходят наружу.

Остаточные напряжения, характеризуемые двойным лучепреломлением, не только искажают волновой фронт, но и влияют на общее и местное отклонение поверхности.

Вскрывшиеся при обработке рабочей поверхности **пузыри** не только оказывают некоторое прямое влияние на волновой фронт, но являются дефектами ее чистоты, а также приводят к местным погрешностям формы поверхности, образующимся при их располировывании.

Вторая часть таблицы содержит требования к изготовлению детали, в которой, в зависимости от типа оптической детали указывают:

- общую **N** и местную **ΔN** погрешности формы рабочей поверхности;
- класс чистоты полированной поверхности **P** ;

- допустимую клиновидность пластин θ ;
- пирамидальность призм π ;
- допустимую разность равных по номиналу углов призм δ ;
- разрешающую способность ε (при необходимости);
- остаточную фокусность пластин и призм f_{min} (при необходимости);
- класс точности пробного стекла ΔR или предельное отклонение от расчетного значения радиуса в процентах (для плоских поверхностей при необходимости).

Величина **N** – допуск на общее отклонение формы, рабочей поверхности оптической детали от эталона (формы поверхности пробного стекла), выраженный числом интерференционных колец или полос, наблюдаемых при наложении пробного стекла на поверяемую поверхность.

В производственном обиходе интерференционную картину обычно называют **ЦВЕТОМ**.

Этот параметр определяет точность, с которой будет выполнен радиус кривизны сферической поверхности или отступление от плоскостности у плоской.

На практике данную погрешность называют **общей ошибкой**.

Величина ΔN - допуск на местное (нерегулярное) отклонение формы рабочей поверхности от эталонной (или иначе – **местные ошибки**), выраженное числом интерференционных колец или полос.

В ряде случаев (большие поверхности, асферические поверхности) контроль формы поверхности детали осуществляется не пробными стеклами, а с помощью сферометров, интерферометров и других методов и средств, что обуславливает также и иную систему задания допусков на погрешности формы рабочей поверхности (в процентах, линейной мере, угловой мере, долях длины волны света, дифракционным кружком рассеяния, значением асферичности).

Допуск на местные ошибки устанавливают более жесткий (строгий) по сравнению с допуском на общую ошибку (примерно в 5-10 раз), так как местные погрешности формы более сильно влияют на качество изображения и не могут быть компенсированы (например, изменением воздушных промежутков между компонентами оптической системы).

Обычно поля допусков N и ΔN устанавливают симметричными относительно номинала и знак отступлений не указывают.

В особых случаях их указывают со знаками плюс или минус.

При знаке плюс наблюдается воздушный зазор на краю (касание в центре – «общий бугор»), а при знаке минус – зазор в центре (касание на краю – «общая яма»).

Для плоской поверхности это означает, что при знаке плюс она слегка выпуклая, а при знаке минус – слегка вогнутая.

При назначении неодинаковых допусков для разных поверхностей одной детали или разных зон одной и той же поверхности обозначения этих допусков следует указывать с буквенными индексами, каждое в отдельной строке.

Эти же индексы следует ставить у соответствующих поверхностей или у их зон на изображении детали в поле чертежа.

Для деталей, не подлежащих контролю пробными стеклами, отклонения N и ΔN не указываются.

В ответственных случаях допуски на N и ΔN рассчитываются исходя из требуемого качества изображения.

Нужно учитывать:

- материал, из которого изготовлена деталь;
- возможные технологические методы изготовления;
- спектральный диапазон работы;
- расположение детали в оптической системе (установлена она в широком или узком пучке лучей);
- вид оптической системы и ее конструктивные параметры и характеристики;
- габаритные размеры детали;
- и т. д.

Например, защитное стекло (или светофильтр) может стоять как перед объективом (тогда допуски на N , ΔN должны быть более жесткими), так и за окуляром (где указанные допуски будут шире).

Детали, изготовленные из оптических полимеров обычно имеют относительно невысокую точность формы рабочих поверхностей ($N = 8 \div 10$, $\Delta N = 1 \div 2$).

Более точная форма поверхности достигается на материалах с высокой твердостью, по сравнению с материалами, имеющими низкую твердость.

Допуск на погрешности форм рабочих поверхностей линзы (выполненной из стекла) объектива, работающего в видимом спектральном диапазоне, должен быть более жесткий, чем эти допуски на подобную линзу (выполненной, например, из германия) объектива, работающего в дальней ИК-области спектра.

Достигаемая технологическая точность форм рабочих поверхностей зеркал, защитных стекол, линз при их изготовлении зависит от соотношения толщин по оси и наибольших размеров (диаметров) этих деталей.

Допуск на дефекты чистоты полированных рабочих поверхностей оптических деталей выражают в классах чистоты **P** по действующему стандарту (**ГОСТ 11141-84**), которым оговорены размеры и число дефектов - царапин, точек, их скоплений (к ним относят также вскрытые пузыри, следы недополировок, клея, выколки).

Требования оговорены одиннадцатью классами от *I* до *IХa* для поверхностей, удаленных от плоскости изображения, и еще более строгим классом **P₀** (нулевой) с подразделениями 0-10, 0-20 и 0-40 для поверхностей, расположенных в плоскостях изображения предметов.

Очень трудно не допустить появления царапин и точек на полированных оптических поверхностях.

Главными причинами их образования являются:

- загрязнение среды, окружающей рабочее место оптика;
- загрязнение порошкообразных шлифующих и полирующих материалов;
- пузырьность оптических материалов.

Допустимые **клиновидность θ** пластин, **пирамидальность π** и **разность одинаковых углов δ** призм рассчитываются исходя из допустимых значений вызываемых ими дефектов:

- отклонения пучка лучей от расчетного направления
- аберраций оптической системы (поперечного хроматизма, комы, дисторсии).

При отсутствии требований к какому-либо из рассмотренных параметров в соответствующей графе ставят прочерк.

Клиновидность – отклонение от параллельности наружных поверхностей.

Пирамидальность призмы измеряют автоколлимационным способом. Контролируемую призму помещают на столик, приведенный в горизонтальное положение, и получают автоколлимационное изображение от каждой боковой грани. Разность смещений изображения по вертикали деленная на 2 составит **угол пирамидальности**.

Искажения изображения, вызванные неидеальностью оптических систем, называются **абберациями**.

Абберации - хроматические и монохроматические (сферическая продольная и поперечная, кома, дисторсия).

В третьей части таблицы указываются оптические характеристики детали. Так, для **линз** приводят **фокусное расстояние и фокальные отрезки, а также световые диаметры** на ее рабочих поверхностях, для **призм** – геометрическую длину хода луча и световой диаметр.

Фокусное расстояние - расстояние от главной плоскости до фокуса.

Фокус - точка на оптической оси в пространстве изображений, сопряжённая с бесконечно удалённой точкой, расположенной на оптической оси в пространстве предметов.

Главные плоскости (рис. 4) - пара условных сопряженных плоскостей, расположенных перпендикулярно оптической оси, для которых линейное увеличение равно единице.

Главные плоскости (рис. 4) - две условные плоскости H и H' , от которых производится отсчет главных фокусных расстояний f и f' .

Световой диаметр - диаметр поверхности, пропускающей световой поток.

S_F - вершинные фокусные расстояния (фокальные отрезки), f
- фокусные расстояния.

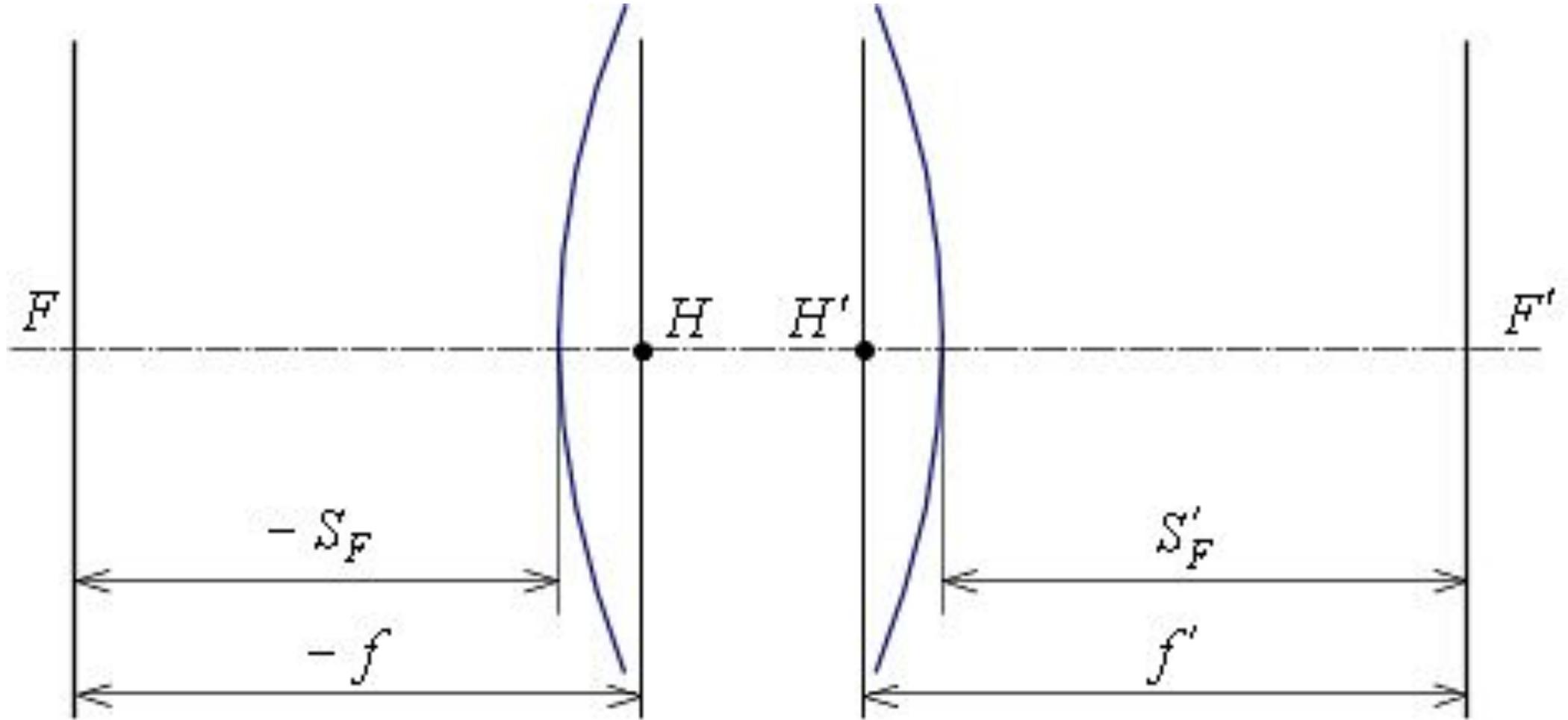


Рис. 4

Расстояние от передней (первой по ходу луча) оптической поверхности до переднего фокуса - **переднее**, а расстояние от последней оптической поверхности до заднего фокуса - **заднее вершинное фокусное расстояние (рис. 4)**.

Согласно действующим стандартам (**ГОСТ 7427-76**), вершинные фокусные расстояния именовются - **передний фокальный отрезок и задний фокальный отрезок**.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей, образующих микрорельеф поверхности детали.

Допуски на **шероховатость** поверхностей различны для рабочих и нерабочих поверхностей оптических деталей.

Класс шероховатости поверхности определяется **высотой неровностей и средним арифметическим отклонением профиля.**

Высота неровностей (R_z) определяется как разница максимальных высот пиков и впадин в десяти точках:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 (H_{\text{П}i} - H_{\text{В}i})}{5},$$

где $H_{\text{П}i}$ - максимальная высота пика, мкм

$H_{\text{В}i}$ - минимальная высота впадины, мкм

Среднее арифметическое отклонение профиля (R_a) - средняя высота неровностей:

$$R_a = \frac{(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n)}{n},$$

- y - координата точки профиля, при координате средней линией равной 0 мкм;
- n - количество точек (чем больше, тем лучше).

Принято 14 классов шероховатости:

- 1 - самый грубый;
- 14 - самый гладкий.

Например, поверхность 14 класса должна иметь:

- $R_a = 0,006 - 0,01\text{мкм}$,
- $R_z = 0,032 - 0,05\text{мкм}$.

Обозначение шероховатости на чертежах.

В соответствии с изменениями № 3 к действующему стандарту (**ГОСТ 2.309-73. Обозначения шероховатости поверхностей**), принятыми Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 28.05.2002 приняты обозначения, приведенные на **рис. 5.**

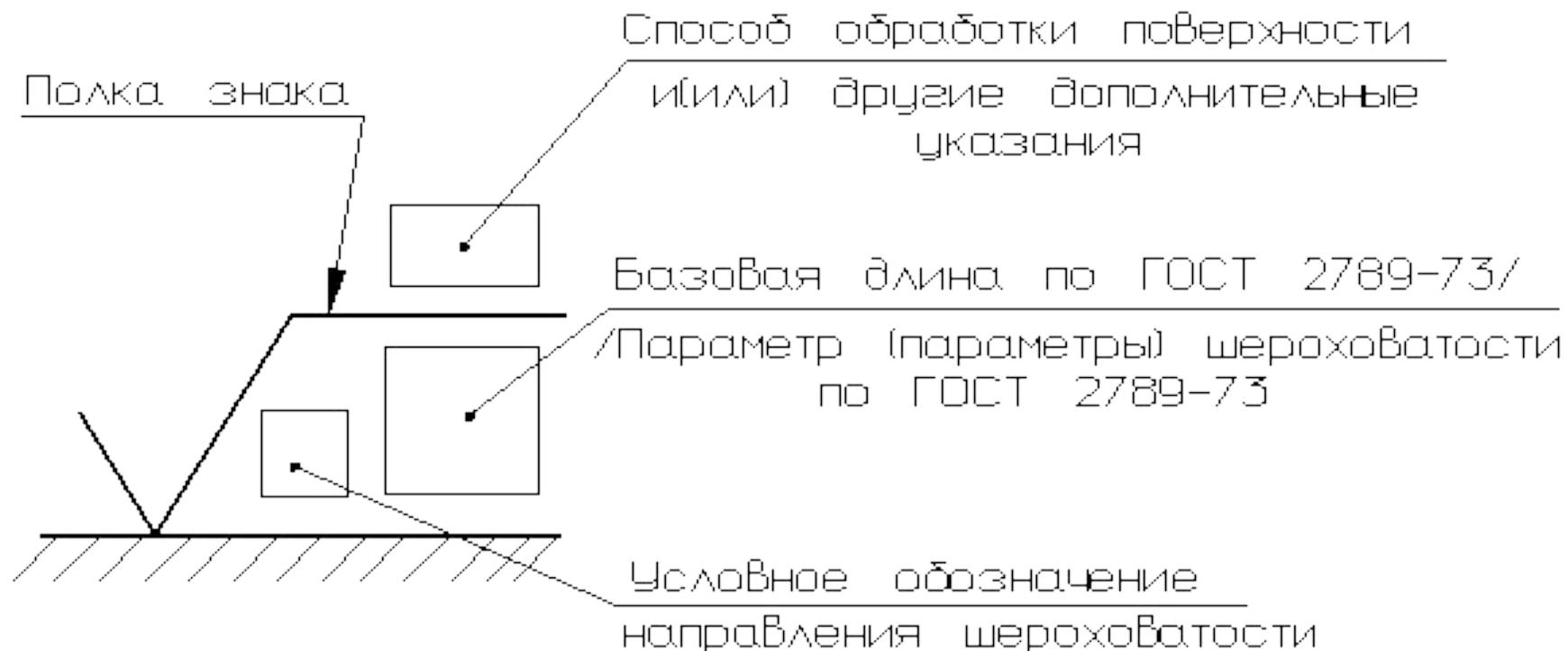


Рис. 5 Структура обозначения шероховатости поверхности

Рабочие (оптические) преломляющие и отражающие **поверхности** большинства деталей (за исключением, например, матовых стекол, экранов) полируются до высоты неровностей профиля по параметру R_z , равному 0,05 мкм.

Нерабочие поверхности могут иметь различные значения параметров шероховатости, зависящие от их назначения, свойств материалов деталей, методов их получения и обработки (литье, прессование, штамповка, резание, шлифование, полировка, травление), характеристик и зернистости обрабатывающего инструмента (абразива).

Наиболее часто шероховатость таких поверхностей, достигаемая удалением слоя материала, нормируется параметром R_a , равным 2,5 мкм.

В случаях, когда материал детали (например, бериллий, карбид кремния, титановые и алюминиевые сплавы, из которых часто изготавливают зеркала космических телескопов) не позволяет получить оптической поверхности, на нее наносят **конструкционное покрытие** (стеклянное, медное, никелевое), которое затем обрабатывают (полировкой, алмазным точением) для получения требуемых шероховатости и точности формы поверхности.

Оптические поверхности деталей, работающие с мощным лазерным излучением, обрабатываются с применением методов глубокого шлифования и полировки для повышения их лучевой прочности.

Допуски на толщину (размер) оптических деталей по (вдоль) оси пучка лучей (линз, пластин, клиньев) устанавливаются обычно симметричными (\pm), дающими большую свободу действий оптику, по сравнению с односторонним полем допуска.

На силовую деталь (линзу, зеркало) устанавливают допустимое значение ее **децентрировки**. Под **децентрировкой** понимают смещение центра(ов) кривизны ее рабочей поверхности от базовой оси детали или неперпендикулярность ее плоской рабочей поверхности к этой оси.

В ряде случаев (например, для цилиндрических рабочих поверхностей, деталей с некруглыми боковыми поверхностями) под **децентрировкой** понимают смещение или непараллельность центра кривизны либо оси цилиндра рабочей поверхности относительно базовых поверхностей.

Расчет допустимых значений **децентрировки** осуществляется исходя из допустимых значений вызываемых ею дефектов (смещения изображения, аббераций: комы, дисторсии, поперечного хроматизма) и соответствующих коэффициентов влияния **децентрировок** поверхностей на эти дефекты.

На кромках оптических деталей, как правило, наносят **фаски:**

- **защитные** (технологические), служащие для удаления микротрещин и выколок, появившихся в процессе обработки детали, предохраняющие ее от возможных сколов, трещин и разрушений при закреплении и эксплуатации из-за больших напряжений в этих дефектах под действием различных сил, а также для исключения травм персонала при изготовлении и сборке деталей из-за острых кромок и заусенцев;

- **конструктивные**, служащие для удаления излишков стекла или для базирования детали (центрировка, обеспечение воздушных промежутков между деталями) по плоской, П-образной, конической, сферической формам буртика;
- **для крепления** завальцовкой (закаткой), приклеиванием, планками.

На преломляющие и отражающие рабочие поверхности оптических деталей обычно наносят **оптические покрытия** – тонкие пленки различных веществ: металлов, окислов металлов, диэлектриков, полимерных соединений, и др.

Оптические покрытия позволяют изменять оптические характеристики деталей, придавать им новые физические и химические свойства.

В зависимости от назначения покрытия подразделяются на следующие группы:

- **просветляющие, зеркальные светоделительные, поглощающие** (они изменяют интенсивность проходящего и отраженного излучения);

- **фильтрующие, поляризующие, спектроделительные** (изменяющие спектральный состав, состояние поляризации и фазовые характеристики излучения);
- **электропроводящие и защитные** (они предназначены для обогрева деталей, временной и постоянной защиты деталей, изготовленных из химически- и влагонестойких оптических материалов, для гидрофобной и фунгицидной защиты деталей, работающих в условиях морского и тропического климата, а также абразивной защиты недостаточно прочных материалов).

Условные обозначения видов покрытий на чертежах оптических деталей указываются в соответствии с **ГОСТ 2.412-81**.

Покрытия могут быть одно-, двух-, трех- и многослойные.

На чертеже оптической детали, на контуре поверхности ставят условное графическое обозначение покрытия, а на поле чертежа, в технических условиях, после условного графического знака типа покрытия указывают сведения о покрытии **(рис. 6)**.

Условные графические обозначения покрытий (ГОСТ 2.412-81)

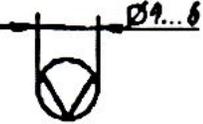
Покрытие	Обозначение	Покрытие	Обозначение
Внешнее зеркальное		Полосовое	
Внутреннее зеркальное		Специальное	
Светоделительное (полупрозрачное зеркало)		Защитное прозрачное	
Просветляющее		Поляризующее	
Фильтр (общее обозначение)		Электропроводящее	
Отрезающее		Светопоглощающее	
Узкополосное			

Рис. 6. Обозначения оптических покрытий

Оформление оптических схем

Оформление оптических схем согласно действующему стандарту (**ГОСТ 2.412-81**) должно выполняться в соответствии со следующими требованиями:

- 1.** На оптических схемах детали и узлы следует располагать по ходу светового луча, идущего от плоскости предметов слева направо.
- 2.** Для сложных приборов оптическую схему основной части прибора и оптические схемы узлов прибора, имеющих самостоятельное назначение, допускается оформлять отдельными чертежами. На основной схеме такие узлы допускается обводить штрихпунктирной линией.

3. Все движущиеся детали (вращающиеся или перемещающиеся вдоль или перпендикулярно к оптической оси системы) следует изображать в основном рабочем положении.

При необходимости другие положения подвижной детали (например, крайние) могут быть показаны штрихпунктирной линией.

4. На оптической схеме следует **указывать**:

- апертурные диафрагмы и положения зрачков;
- положения фокальных плоскостей, плоскостей изображения или предмета;
- положение полевой диафрагмы;
- источники света (схематически);
- приемники лучистой энергии (схематически или условно).

5. На оптической схеме следует **приводить**:

- основные оптические характеристики системы в зависимости от типа, при необходимости с допусками (увеличение, угловое поле, удаление выходного зрачка, относительное отверстие, предел разрешения, коэффициент светопропускания и т. д.);
- различные дополнительные сведения, например расстояние от последней поверхности фотообъектива до плоскости изображения, при необходимости - типы и размеры фотокатодов и ПЗС-матриц и т. д.;

6. На оптической схеме следует **проставлять**:

- диаметры диафрагмы и размеры зрачков, размеры тела накала или иных светящихся элементов источников света;
- воздушные промежутки и другие размеры по оптической оси;
- размеры, определяющие пределы перемещения или предельные углы поворота подвижных оптических деталей;

- размеры, определяющие положение оптической системы относительно механической части прибора, например размер, определяющий положение объектива микроскопа относительно нижнего среза тубуса;
- габаритные или сборочные размеры, например длину базы, высоту выноса (при необходимости).

7. В таблицах на оптической схеме **указывают:**

- фокусные расстояния и фокальные отрезки отдельных узлов оптической системы, которые помещают в поле чертежа в виде таблицы;
- размеры световых диаметров D оптических деталей и соответствующих им стрелок прогиба S_{ag} , а также толщину по оси (для призм - длину развертки), которые помещают в поле чертежа в виде таблицы;

$$S_{ag} = |R| - \sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} \quad R - \text{радиус кривизны поверхности}$$

- спецификацию - перечень деталей, входящих в состав оптической схемы с указанием позиции, формата и номера чертежа, количества и названия деталей; формат спецификации стандартный.

Располагаются эти таблицы над основной надписью оптической схемы (рис. 7).

Фокусное расстояние $f' = 300,9$ мм
 Угловое поле зрения $2\omega = 4^\circ$
 Линейный размер изображения — 13,2 мм.

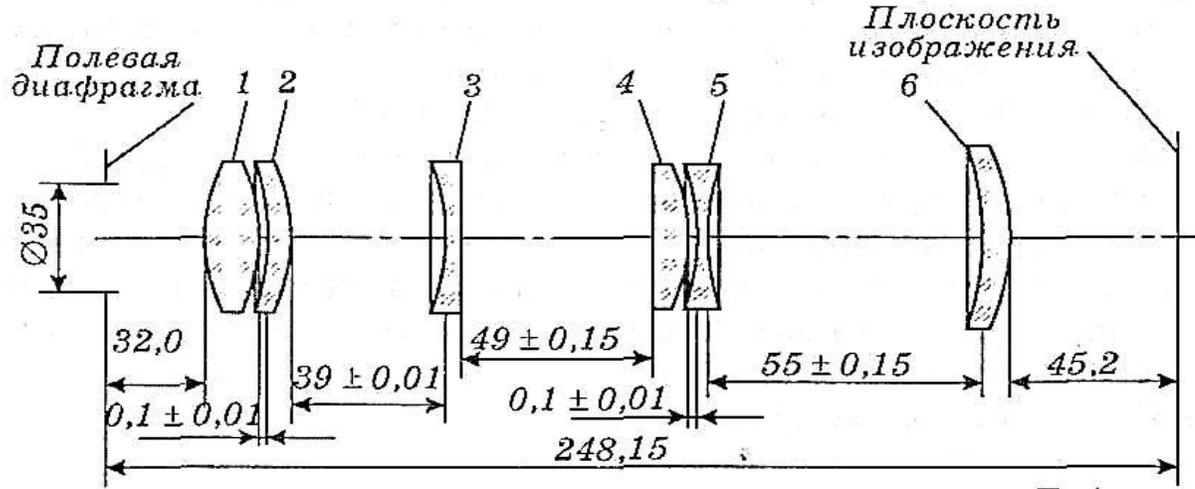


Таблица 1

Позиция	Св. Ø1	Стрелка	Св. Ø2	Стрелка	Толщина по оси
1	23,2	1,81	22,1	1,13	10,0
2	33,1	1,12	21,3	1,31	6,2
3	18,2	1,09	19,1	0,03	2,0
4	16,2	0,26	16,1	1,47	4,3
5	13,4	1,44	13,4	1,34	1,3
6	19,6	0,31	20,2	0,44	3,0

Таблица 2

Формат	Зона	Позиция	Обозначение	Деталь	Количество	Примечания
A4		1	ОЭП-17.01.001	Линза	1	
A4		2	ОЭП-17.01.002	Линза	1	
A4		3	ОЭП-17.01.003	Линза	1	
A4		4	ОЭП-17.01.012	Линза	1	
A4		5	ОЭП-17.01.013	Линза	1	
A4		6	ОЭП-17.02.002	Линза	1	

Расчет оптической системы произведен для $\lambda = 0,93$ мкм

Рис. 7.
 Пример оформления
 оптической схемы оптико-
 электронного
 преобразователя

Апертурная диафрагма (действующая диафрагма) - специально установленная диафрагма или оправа одной из линз, которая ограничивает пучки лучей, выходящие из точек предмета, расположенных на оптической оси и проходящих через оптическую систему **(рис. 8)**.

Входной и выходной зрачки являются изображениями апертурной диафрагмы, образуемыми соответственно частями оптической системы объектива, расположенными перед диафрагмой или позади её **(рис. 8)**.

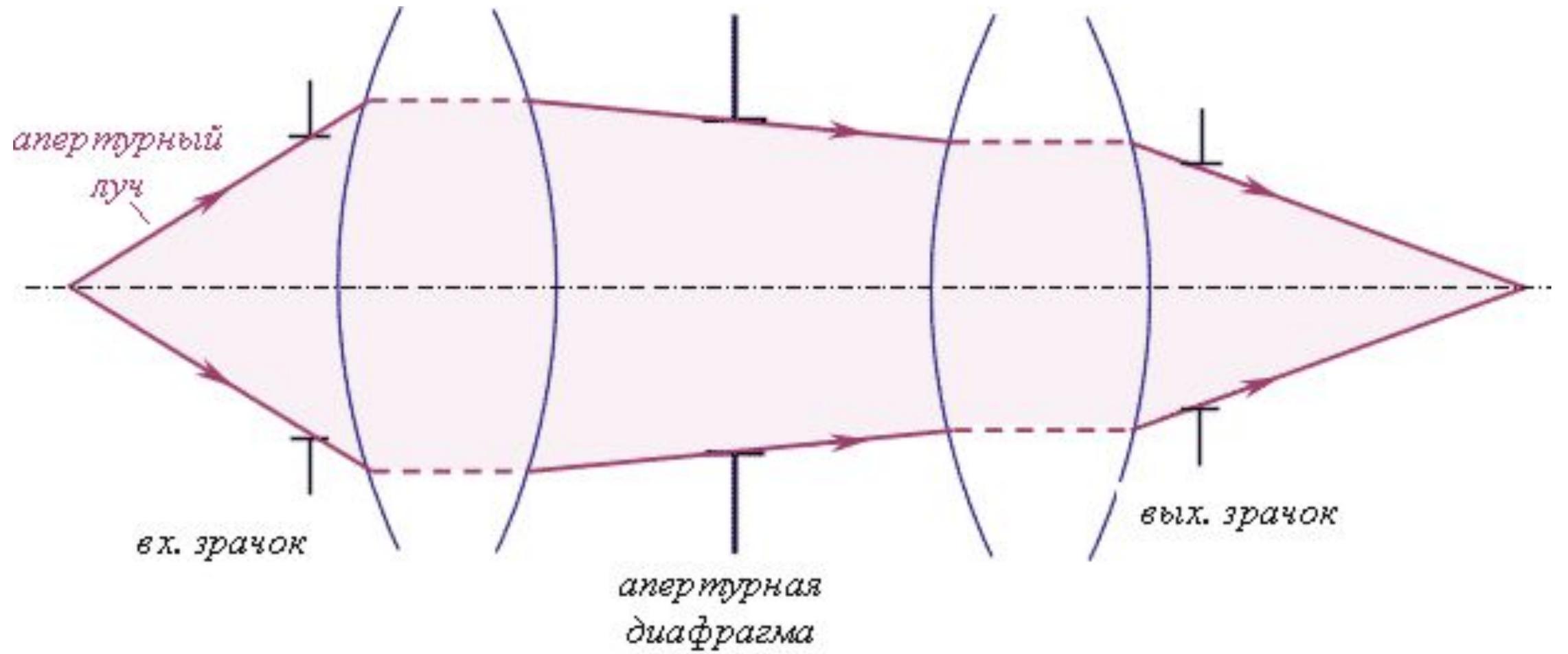


Рис. 8

Полевая диафрагма - диафрагма, ограничивающая линейное поле оптической системы в пространстве предметов или в пространстве изображений.

Располагается в непосредственной близости от одного из фокусов оптической системы (в системах с оборачивающими элементами может располагаться в одном из промежуточных фокусов).

Может иметь форму круга (в микроскопах, телескопах). В спектральных приборах имеет форму щели.

Определяет, какая часть пространства может быть изображена оптической системой.

Вопросы к экзаменам

1. Виды работ при создании новых ОЭП (НИР, ОКР). Их цели и задачи. Этапы проектирования ОЭП.
2. Единая система конструкторской документации. (Обозначения, состав).
3. Схемы. Виды схем. Функциональная комбинированная схема.
4. Основные требования к оформлению чертежей оптических деталей.
5. Оформление оптических схем.