

***ПРИНЦИПЫ
КОНСТРУИРОВАНИЯ
СОЕДИНЕНИЙ***

- ***Соединением деталей в конструкторском смысле***

(как элемента конструкции)

называют конструкцию элементарной сборочной единицы, которая состоит из двух или нескольких деталей, находящихся в непосредственном контакте (сопряжении) друг с другом.

- ***Соединением деталей в технологическом смысле***

(как сборочную операцию)

называют сопряжение деталей путем их сочленения, свинчивания, развальцовки, сварки и т. п.

Соединяемые детали образуют **контактные пары**

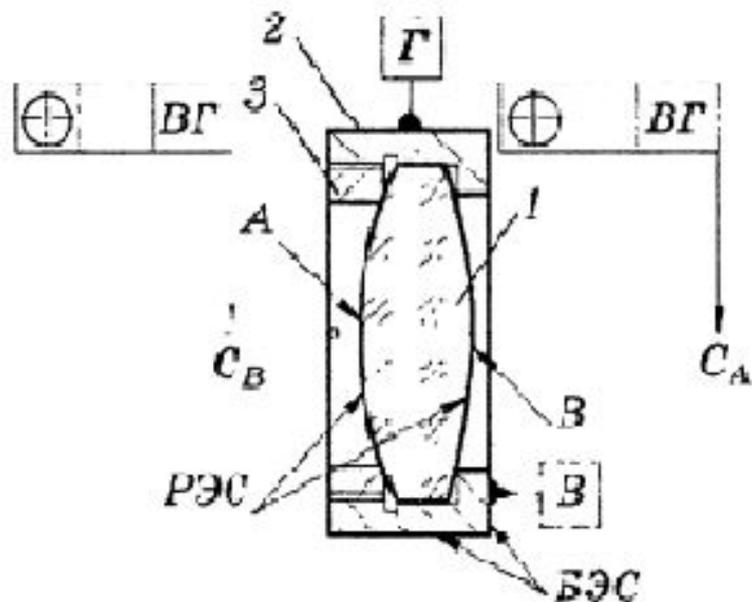
Классификация контактных пар

- ⊙ подвижные и неподвижные;
- ⊙ замыкающиеся формой, силой и креплением;
- ⊙ сопрягающиеся (контактирующие) по поверхности, по линии и по точке.

В соединении различают

- ✓ базовую и рабочую (присоединяемую) детали,
- ✓ базовые (БЭС) и рабочие (РЭС) элементы (поверхности) соединения

Соединение линзы (1) с оправой(2)



1- рабочая присоединяемая
деталь

2 -базовая деталь

Рисунок 2.

Соединение происходит с помощью резьбового кольца 3, которое является в соединении вспомогательной деталью, осуществляющей силовое замыкание линзы на торцевую посадочную поверхность оправы.

Показатели качества соединений

Эксплуатационные

Точность

Надежность

Износостойкость

Несущая
способность

Конструктивные

Габаритные
размеры

Масса

Компактность

Технологические

Технологичность
сборки

Технологичность
юстировки

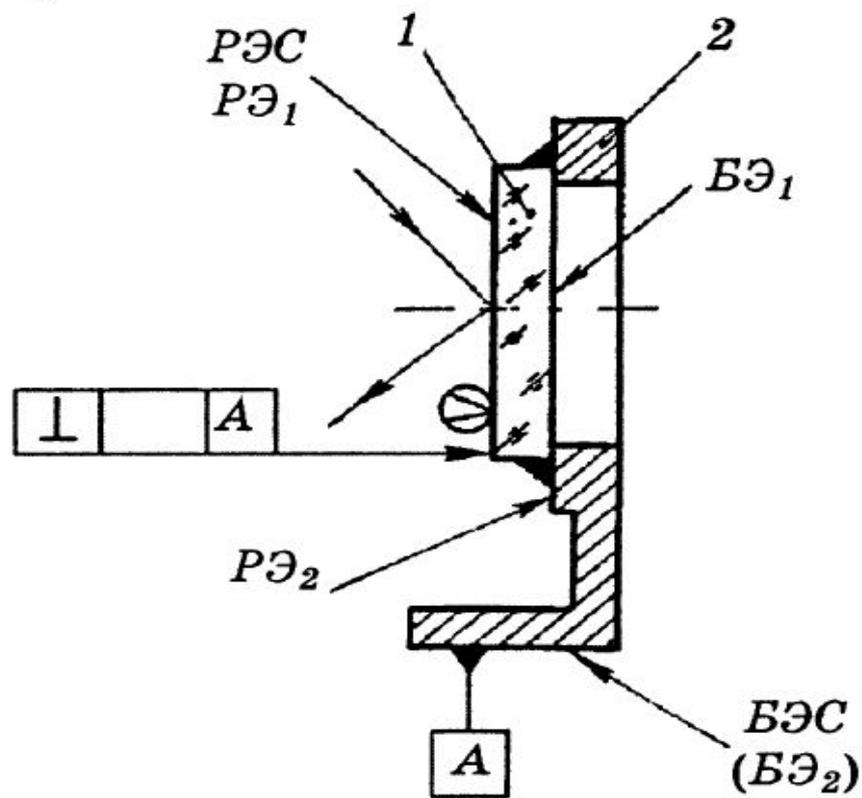
Технологичность
контроля

ПРИНЦИП СОВМЕЩЕНИЯ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОЕДИНЕНИИ

При конструировании соединений предпочтительной является конструкция, позволяющая осуществлять контакт сопрягаемых деталей по их рабочим элементам.

В этом случае происходит объединение рабочего и базового элементов присоединяемой детали, уменьшается размерная цепь и повышается точность расположения РЭС относительно БЭС

а)



б)

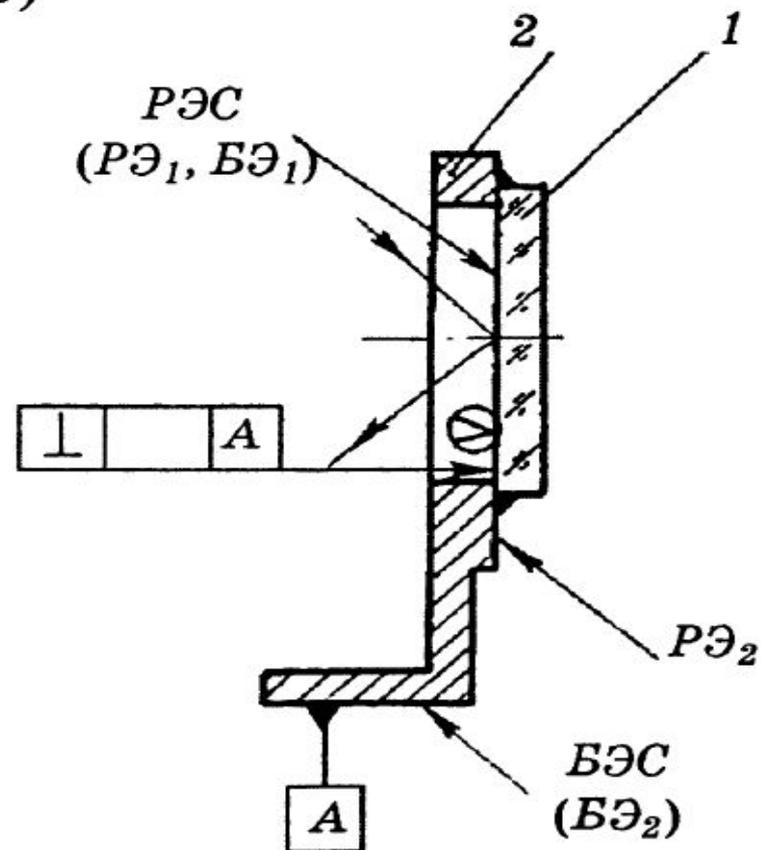


Рисунок 3.

На рисунке изображена конструкция соединения зеркала 1 с кронштейном 2. Конструкция, изображенная на рис.3б, позволяет точнее ориентировать отражающую поверхность зеркала (РЭС) относительно основания кронштейна (БЭС) и не требует жесткого допуска на клиновидность зеркала по сравнению с конструкцией, изображенной на рис.3а.

ПРИНЦИП ОТСУТСТВИЯ ИЗБЫТОЧНОГО БАЗИРОВАНИЯ В СОЕДИНЕНИЯХ ДЕТАЛЕЙ (СТАТИЧЕСКАЯ ОПРЕДЕЛЕННОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ)

- Базированием - называется придание материальным телам определенного и строго фиксированного положения в пространстве (отнятие лишних степеней свободы).
- Базирование называют избыточным когда лишние степени свободы присоединяемой детали отняты более одного раза, т. е. когда для отнятия лишней степени свободы наложена более чем одна связь. Соотношение между оставшимися степенями свободы n и числом наложенных связей m должно быть :

$$n + m = 6$$

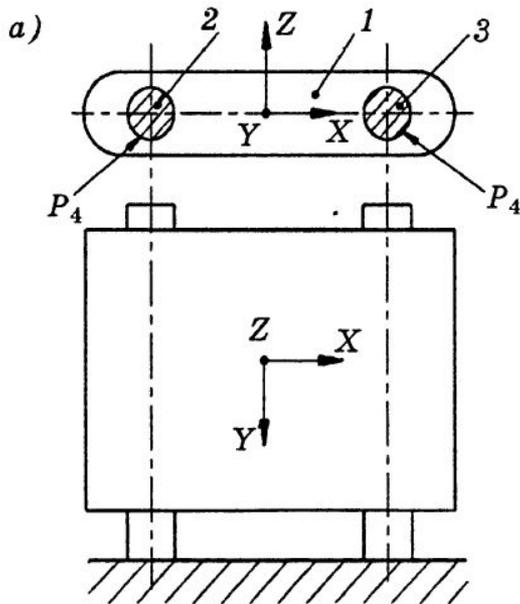
Для выявления избыточных (или недостаточных) связей в соединении используют формулу :

$$q = n + \sum_{k=1}^{k=5} P_k K - 6,$$

P_k - класс элементарной пары контакта, который определяет число степеней свободы, отнимаемых парой (например, при контакте по точке $P_1 = 1$; при контакте по линии $P_2 = 2$; при контакте по плоскости $P_3 = 3$; при контакте по цилиндрической поверхности $P_4 = 4$; при контакте конус - конус, винт- гайка $P_5 = 5$).

K -число пар данного класса.

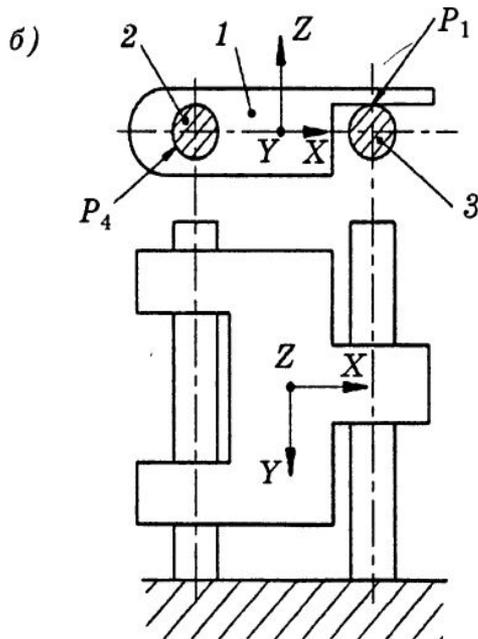
Если q равно нулю, то базирование в соединении правильное; если q меньше нуля, то у присоединяемой детали остаются излишние степени свободы; если q больше нуля, то это означает, что в соединении существует избыточность базирования.



Для соединения ползуна 1 (рис. 4а), перемещающегося вдоль оси с направляющими цилиндрическими стержнями 2 и 3 получаем:

$$q = 1 + 4 \times 2 - 6 = 3.$$

Эта конструкция имеет три избыточные связи), в результате чего из-за погрешностей изготовления деталей (погрешностей межосевых расстояний, непараллельности отверстий в ползуне и осей валов) могут произойти деформация ползуна и его заклинивание при движении, особенно в случае колебания температуры. Избежать этого можно либо за счет больших зазоров в направляющих, что приведет к потере точности, либо за счет тщательной регулировки цилиндров, что существенно повысит трудоемкость сборки соединения.



Конструкция ползуна, изображенная на рис. 4б, свободна от этих недостатков:

$$q = 1 + 4 \times 1 + 1 \times 1 - 6 = 0.$$

Рисунок 4.

- Нарушение принципа можно увидеть по дублированию сопряжений деталей (базовых элементов), отнимающих одни и те же степени свободы:

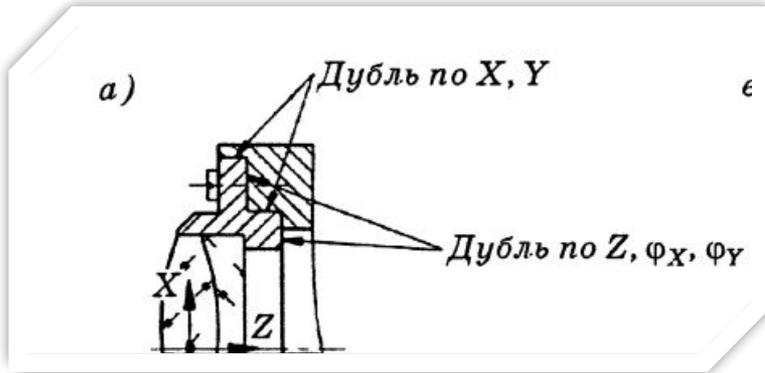


Рисунок 5а.

- Устранить неопределенность базирования можно либо изменив конструкцию сопряжения деталей (рис. б), либо осуществив совместную технологическую обработку соответствующих поверхностей сопрягаемых деталей.

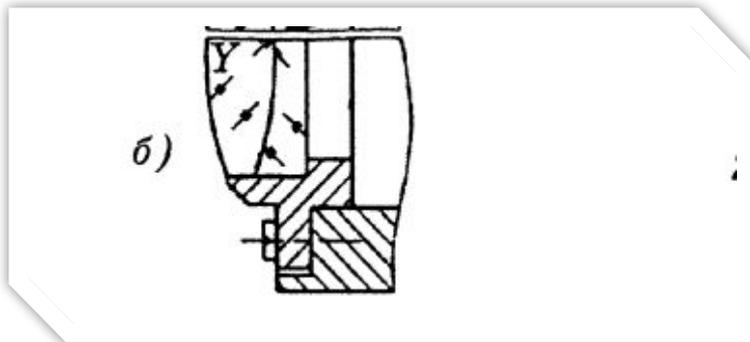


Рисунок 5б.

- В ряде случаев проверка соединения на избыточность базирования требует тщательного анализа, поскольку его результат не так очевиден, как в рассмотренных примерах.

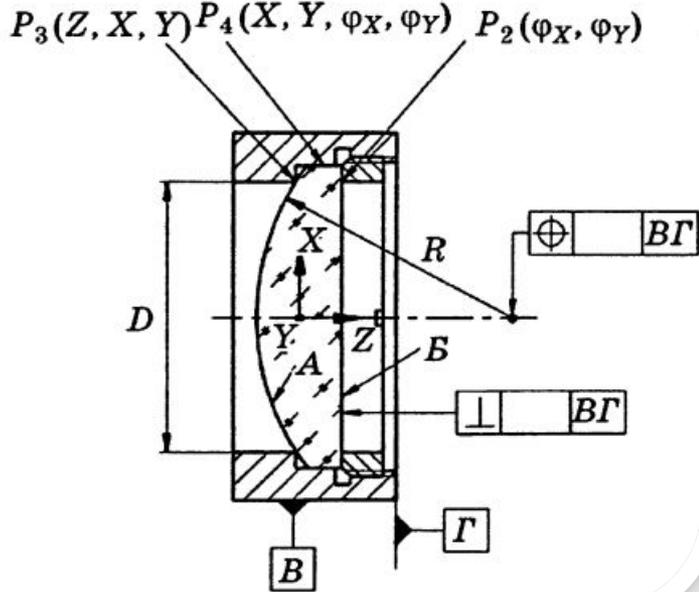


Рисунок 6 Типовая конструкция соединения (крепления) плоско-выпуклой линзы с оправой с помощью резьбового кольца.

Если **формально** подойти к определению класса элементарных пар контакта в этом соединении, мы должны записать, что:

1. контакт сферической поверхности линзы с буртиком оправы является парой 3 класса (P_3) и отнимает смещение линзы по осям X, Y, Z ;
2. посадка линзы в оправу по цилиндрической поверхности является парой 4 класса (P_4) и отнимает у линзы смещения по осям X, Y и повороты вокруг этих осей (φ_x, φ_y);
3. резьбовое кольцо, замыкающее линзу на буртик оправы (по оси Z), воздействуя на плоскую поверхность линзы, отнимает у нее повороты вокруг двух осей φ_x, φ_y .
Поворот линзы вокруг оси Z (φ_z) этими контактными парами не отнимается (он отнимается силами трения), поэтому получаем:

$$q = 1 + 3 \times 1 + 4 \times 1 + 2 \times 1 - 6 = 4.$$

Таким образом, **формальное** проведение анализа показывает, что конструкция имеет четыре избыточные связи и, следовательно, является плохой, нежизнеспособной. Однако практика показывает, что **это не так.**

- Рассмотрим соединение еще раз, более тщательно.

Контакт сферической поверхности линзы с кромкой оправы, образованной торцевой опорной поверхностью и отверстием диаметром D (рис 7)

Со стороны кромки на линзу действует сила реакции N , которая имеет составляющую T , сдвигающую линзу вдоль оси X , когда эта составляющая больше составляющей T' силы трения $-F_{тр\Sigma}$ между линзой, кольцом и оправой. Таким образом, этот контакт, ограничивая смещение линзы вдоль оси Z , отнимает перемещение линзы по осям X, Y , (т. е. осуществляет ее центровку) только при выполнении усл
е. приближенно $\frac{D}{2R} \geq 2\mu \approx 0,3,$ (1.4)

R — радиус линзы;

μ — коэффициент трения скольжения материалов оправы и линзы.

Когда это соотношение не выполняется, в сопряжении отнимаются смещение вдоль оси Z и повороты вокруг осей X и Y

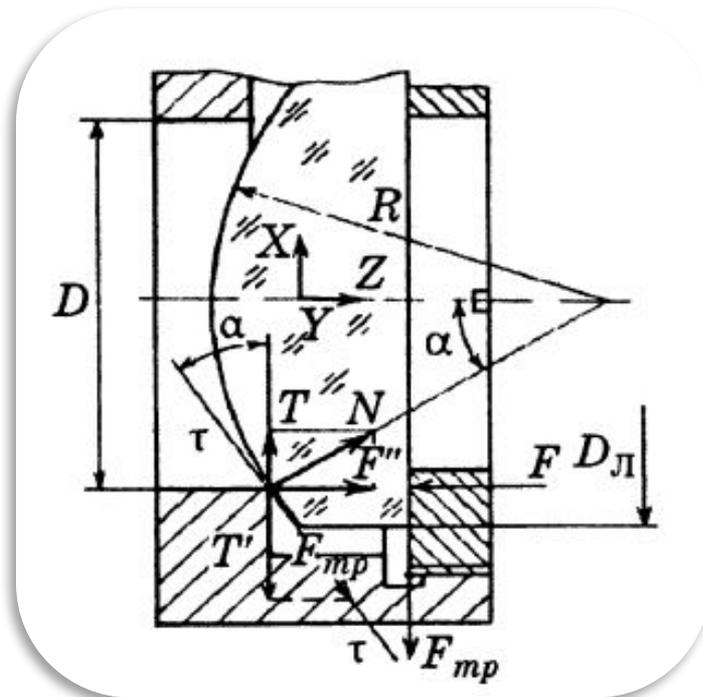


Рисунок 7

- Рассмотрим сопряжение линзы по посадочному цилиндру диаметром $D_{\text{л}}$ с отверстием оправы. Как известно, эта посадка должна быть с гарантированным зазором. Поэтому при выполнении условия (1.4) линза не контактирует с оправой по цилиндрической поверхности диаметром $D_{\text{л}}$, и это сопряжение не должно учитываться при определении избыточности базирования в соединении. Сопряжение плоской поверхности линзы с резьбовым кольцом, ограничивает повороты линзы (вокруг центра кривизны сферической поверхности) по осям X , Y .

$$q = 1 + 3 \times 1 + 2 \times 1 - 6 = 0.$$

Следовательно, данное соединение является статически определенным!

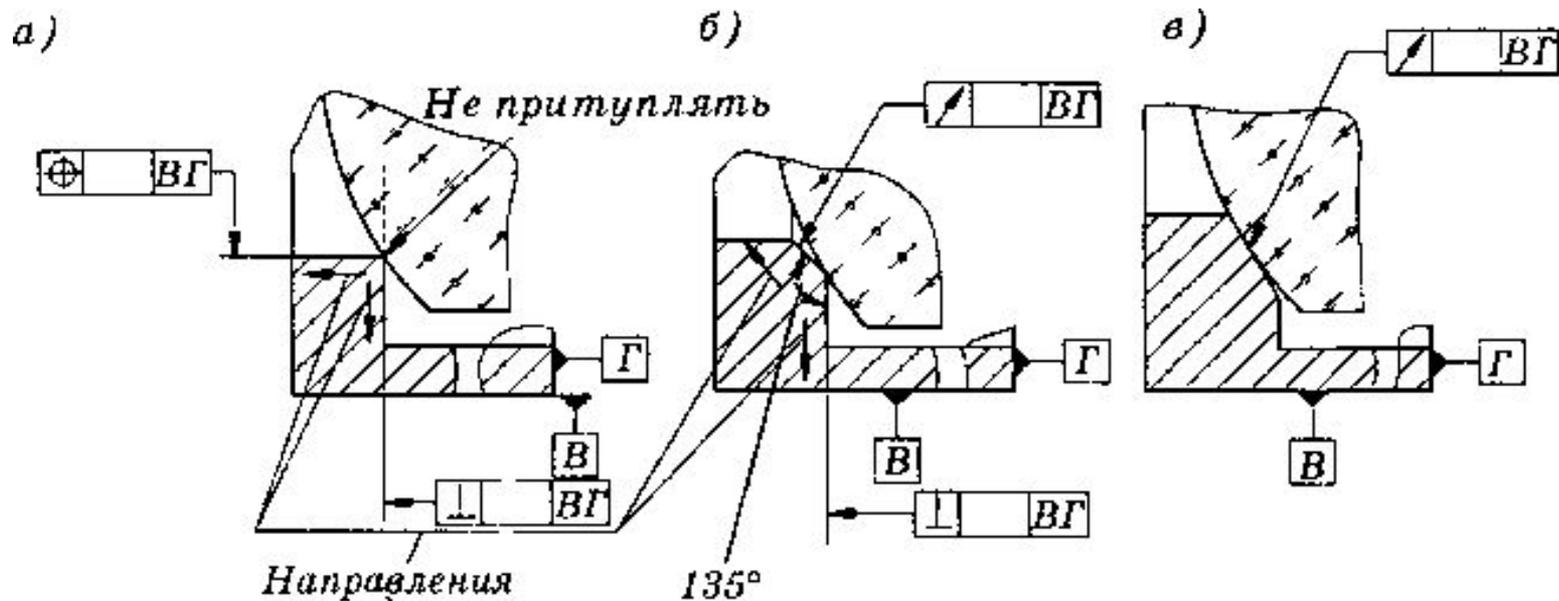


Рисунок 8

Анализ данного соединения на избыточность базирования заставляет конструктора обратить внимание на такие «мелочи», которые часто выпадают из его поля зрения:

- Так, опорная кромка буртика оправы не должна иметь грата и заусениц, поэтому направления движения резца должны быть от кромки в «тело» детали (рис. а, б) при ее обработке.
- В случае, когда для уменьшения деформации кромки оправы и линзы при закреплении последней кромку выполняют под углом 135° либо под углом, касательным к сферической поверхности линзы (рис. б, в), необходимо обеспечить расположение вершины конической поверхности кромки на базовой оси оправы.

ПРИНЦИП ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ КОНТАКТА ПАР В СОЕДИНЕНИИ

Он заключается в *определенности положения и формы контакта сопрягаемых поверхностей деталей.*

- Реальные поверхности деталей имеют макро- и микропогрешности формы поверхностей. В результате детали контактируют друг с другом не по линиям и поверхностям, а по пятнам (площадкам) неопределенной формы, размеры и положения которых в сопряжении также неопределенны.
- Эта неопределенность *снижает* точность расположения присоединяемой детали и несущую способность базовой детали.
- Наибольшее влияние на точность *оказывает неопределенность расположения пятен контакта.*

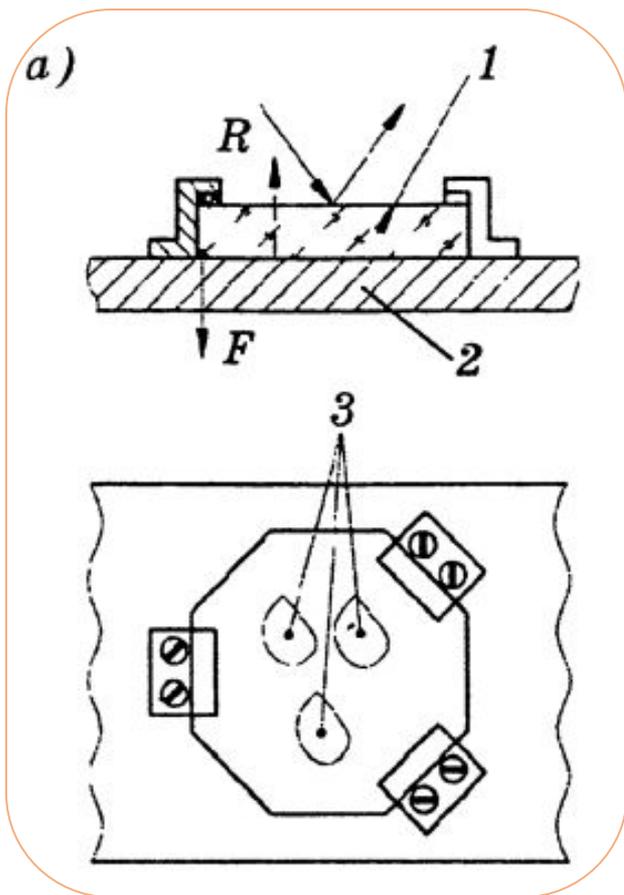


Рисунок 9а

- На рис. *a* изображено соединение зеркала *1* с оправой *2* с помощью трех угольников. Из-за *погрешностей формы* сопрягаемых поверхностей зеркала и оправы их *контакт* будет происходить *не по плоскости*, а по трем площадкам *3*, расположение и форма которых могут быть произвольными в пределах сопрягаемых поверхностей. В результате возникает объемная деформация зеркала под действием сил *F* со стороны угольников и реакции *R* со стороны оправы, *приводящая к порче качества изображения*.

- Соединение, изображенное на рис. б, обладает определенностью расположения площадок контакта благодаря специальным выборкам (либо прокладкам) на оправе. Здесь возникает только контактная деформация зеркала в пределах контактирующих зон, не приводящая к ухудшению качества изображения.

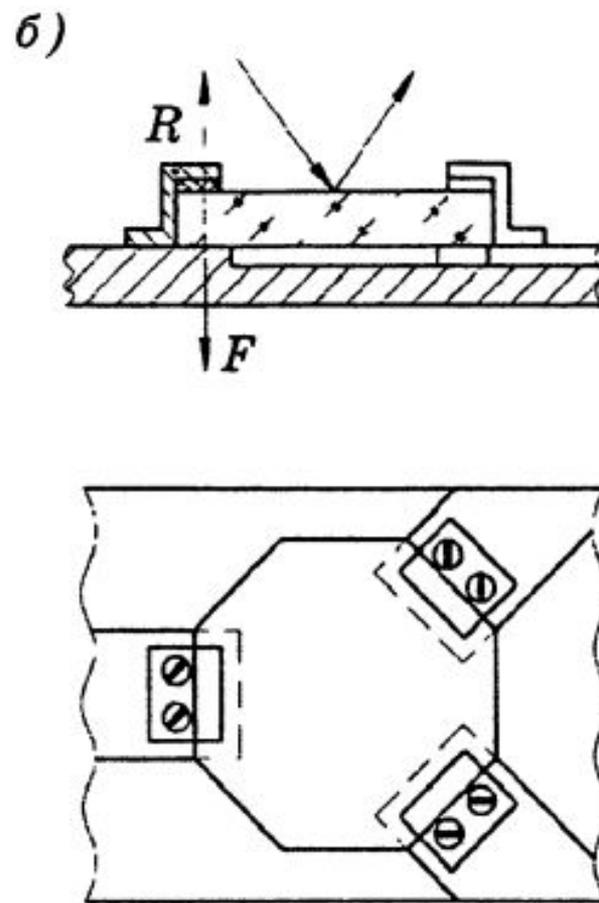


Рисунок 9б

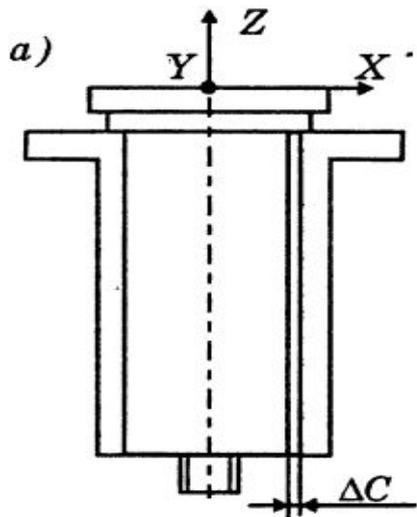


Рисунок 10а

- Неопределенность расположения и формы контакта цилиндрической оси вращения с подшипником (рис. 1.21, *a*) не позволяет определить базу между элементами поверхности, ограничивающими ее наклоны вокруг координатных осей X , Y , требует тщательной обработки всей поверхности и отсутствия бочкообразности.

- ⊙ Выборка на поверхности оси (рис. *б, в*) приводит к соблюдению рассматриваемого принципа и позволяет избежать упомянутые недостатки конструкции соединения.

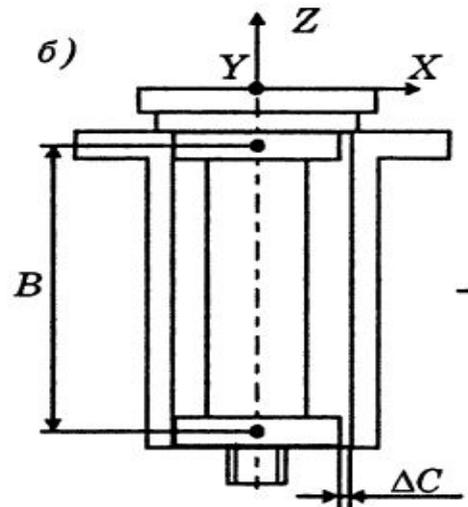
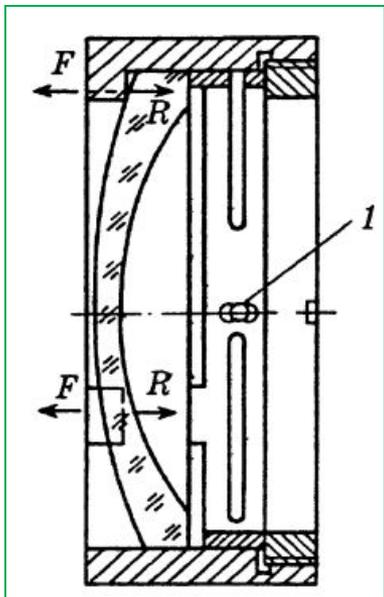


Рисунок 10б

По этим причинам осуществляют также *выборки на протяженных поверхностях ползунов или направляющих поступательного движения.*

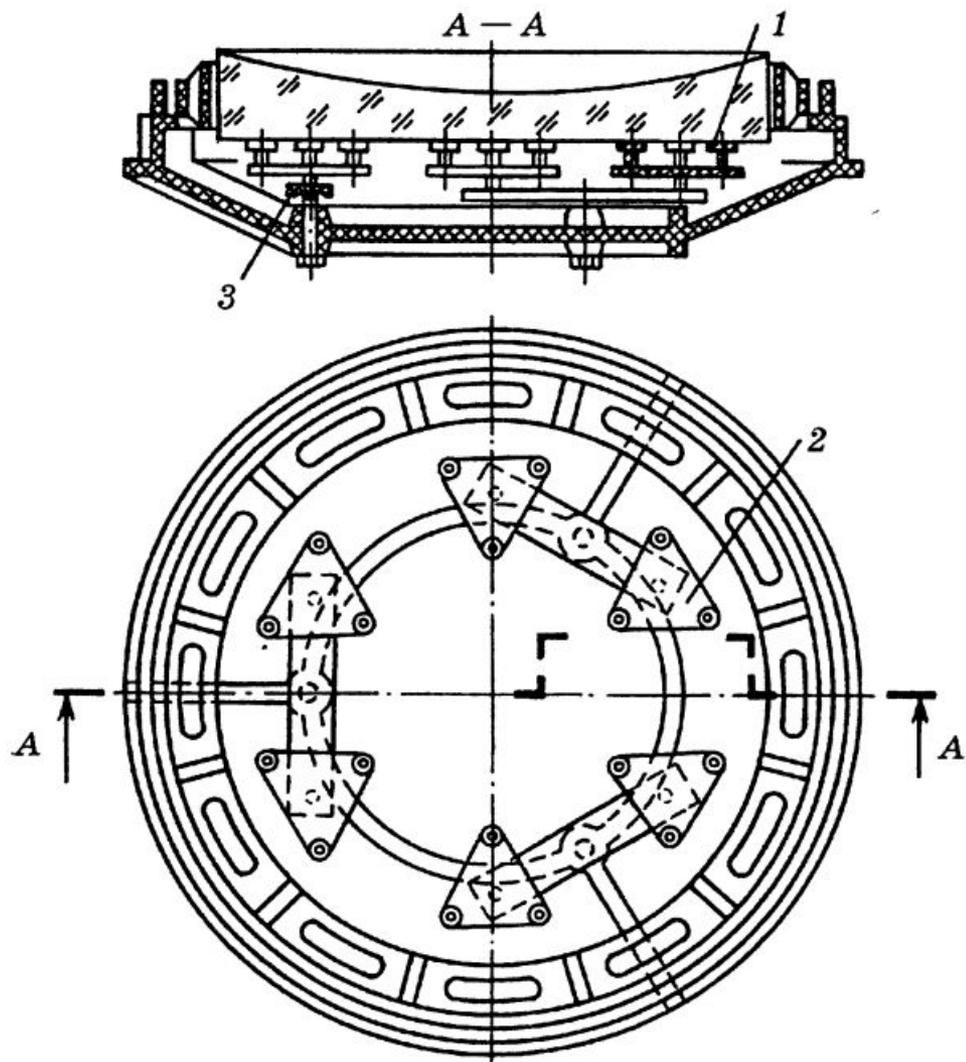
ПРИНЦИП СИЛОВОГО ЗАМЫКАНИЯ

- *Силовое замыкание соединений следует осуществлять так, чтобы линия действия замыкающей силы проходила через зону (площадку) контакта сопрягаемых поверхностей. Тогда сила и возникающая реакция не образуют изгибающего момента, действующего на присоединяемую и базовые детали.*



Примерами выполнения этого принципа могут служить рассмотренное крепление зеркала (см. рис.9б), а также известный способ крепления тонкой линзы, которая опирается на три выступа оправы с помощью резьбового и упругого кольца, имеющего три выступа, которые расположены против выступов оправы (рис. 11), посредством направляющей шпонки (винта) 1.

Рисунок 11



- На рис. 12 изображена конструкция разгрузки зеркала телескопа, позволяющая минимизировать деформации зеркала благодаря равномерному распределению его массы на 18 опор.

Рисунок 12

Разгрузка массы зеркала на 18 опор:

1 — опоры; 2 — разгрузочная площадка; 3 — сферический шарнир

ПРИНЦИП ОГРАНИЧЕНИЯ СМЕЩЕНИЙ В СОЕДИНЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

- *Поверхности, ограничивающие смещение присоединяемой детали относительно базовой, следует располагать перпендикулярно к направлению ограничиваемого смещения.*

В этом случае более точно обеспечивается расположение рабочих элементов соединения относительно базовых, более благоприятным будет силовой режим в соединении (связанный с деформациями деталей, их износом), технологичнее будут детали.

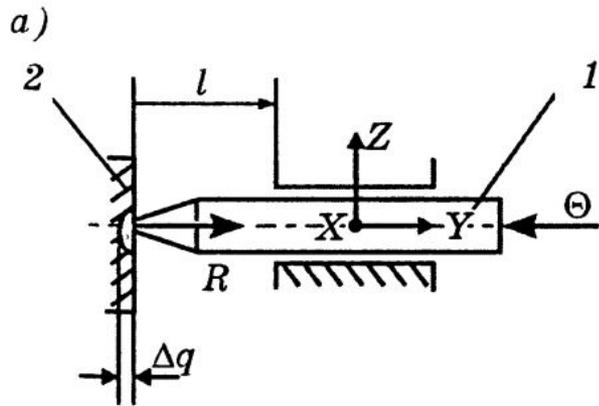


Рисунок 13а

во втором варианте (рис.13б) она будет больше: $\Delta Y_{\Delta q} \approx \Delta q / \cos \alpha$.

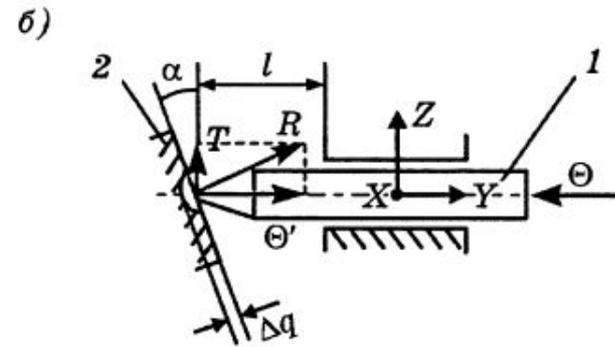


Рисунок 13б

Реакция R со стороны детали 2 на замыкающую силу Θ в первом варианте равна (без учета сил трения) самой силе: $R \approx \Theta$; а во втором варианте она больше: $R \approx \Theta / \cos \alpha$ (т. е. больше будет износ деталей).

Кроме этого, появляется составляющая сила $T = \Theta \times \tan \alpha$, которая может привести к изгибу и повороту (относительно оси X) штока в зазоре направляющих.

При изготовлении в первом варианте необходимо обеспечить параметр l , в то время как во втором случае обеспечиваются параметры l и α .

Для первого варианта (рис.13а) погрешность расположения штока вдоль оси Y из-за погрешности Δq (например, шероховатости) детали 2 будет равна самой погрешности: $\Delta \bar{Y}_{\Delta q} \approx \Delta q$

- На примере приведенном выше можно убедиться в том, что соблюдение *принципа ограничения смещения* деталей в соединениях позволяет повысить точность, надежность и технологичность конструкции.

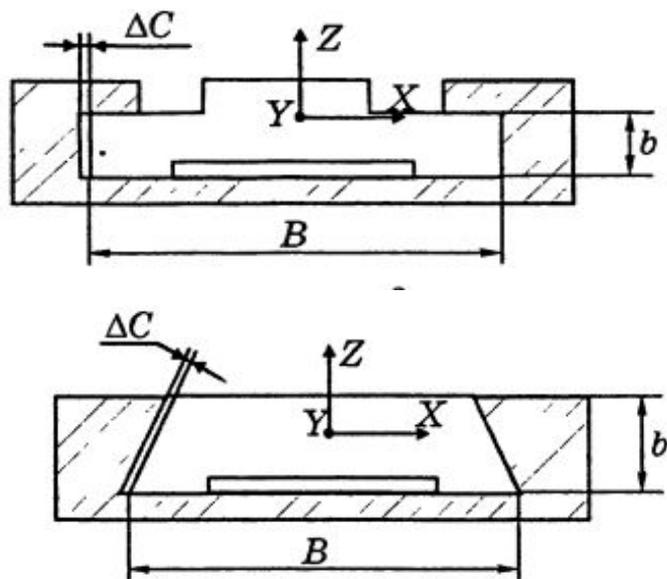


Рисунок 14

Направляющие поступательного движения Т-образного типа (рис 14а) лучше направляющих типа «ласточкин хвост» (рис 14б).

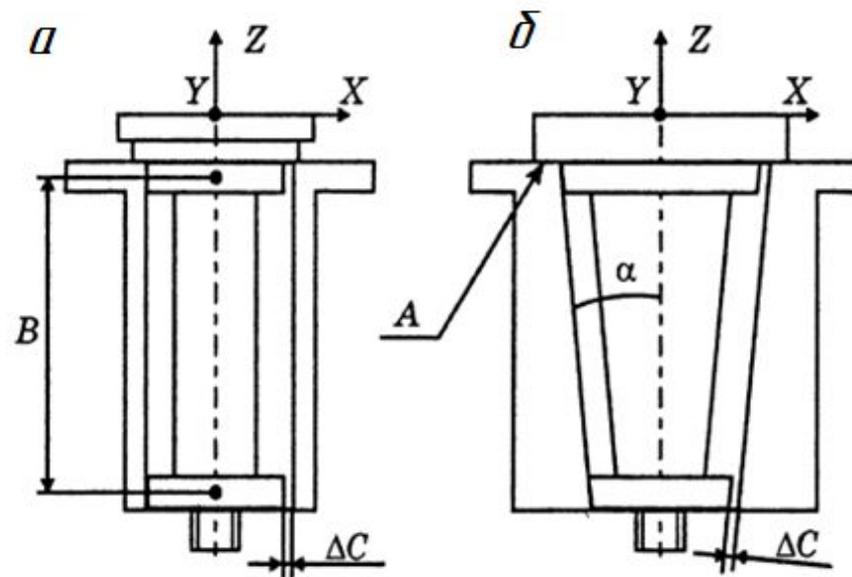


Рисунок 15

Цилиндрические направляющие вращательного движения (рис 15а) предпочтительнее конических (рис 15б)

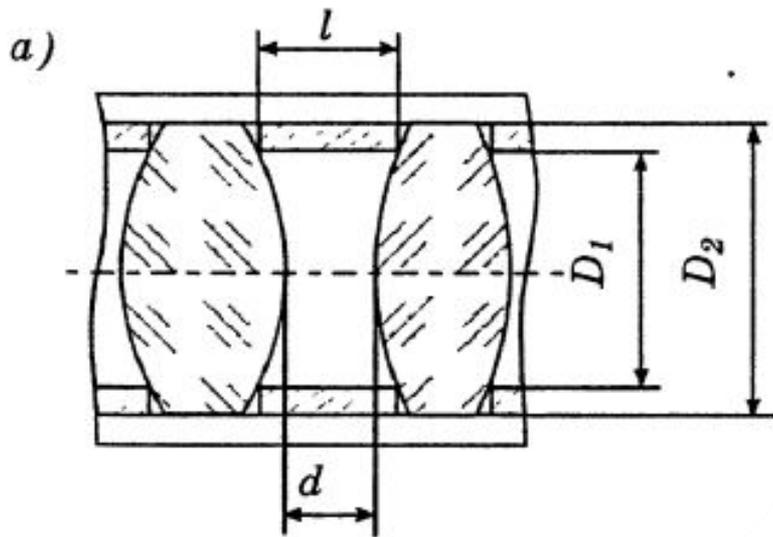


Рисунок 16а

Воздушный промежуток d между линзами объектива выдерживается с помощью промежуточного кольца размером l . Из-за нарушения принципа ограничения смещений на погрешность воздушного промежутка Δd будет влиять не только погрешность размера l кольца Δl , но и погрешность диаметров кольца D_1 и D_2 .

$$\Delta d_{\Delta D_1} \approx \frac{D_1}{4} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Delta D,$$

Кроме этого, данное соединение может быть критично к изменениям температуры при различных коэффициентах линейного расширения материалов линз и кольца, приводящих к разности изменений соответствующих диаметров кольца и линз, обуславливающих появление деформаций и децентрировок оптических компонентов.

Устранение указанных недостатков достигается в некоторых конструкциях путем выполнения линз с так называемым П-образным буртиком (рис. 16б), что позволяет соблюсти принцип ограничения смещений.

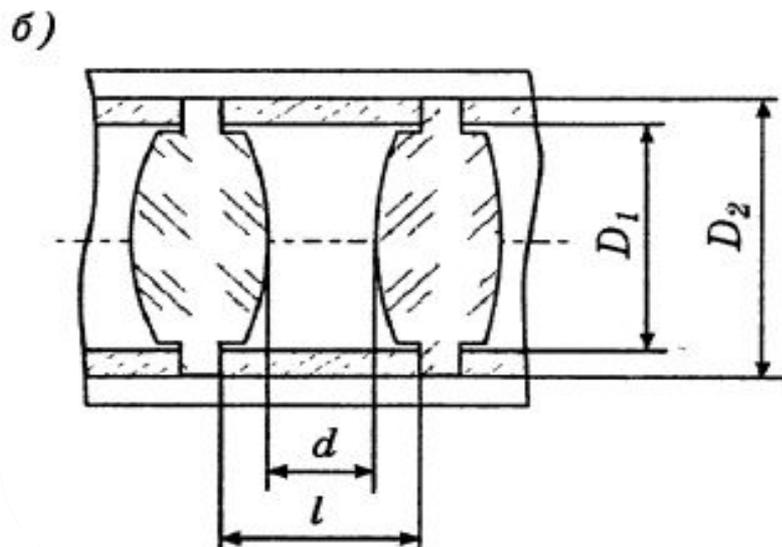
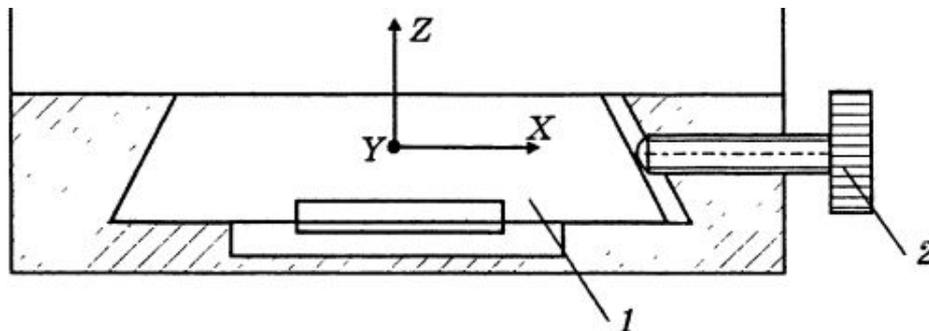


Рисунок 16б

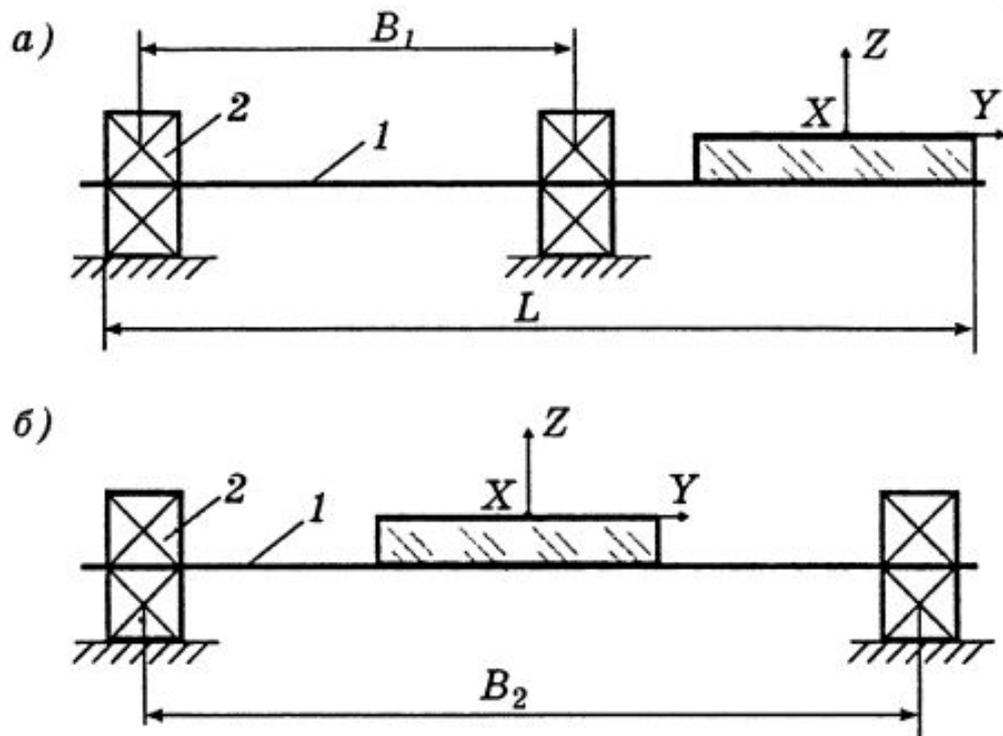
Нарушение рассматриваемого принципа приводит, например, к тому, что при фиксации положения подвижной каретки 1, несущей проекционную систему универсального измерительного микроскопа УИМ-23, винтом 2 происходит значительное ее смещение вдоль оси X (рис. 17). Более правильно для направляющих типа «ласточкин хвост» осуществлять фиксацию в направлении оси Y , для которого принцип ограничения смещений соблюдается.



ПРИНЦИП ОГРАНИЧЕНИЯ ПОВОРОТОВ

- Согласно этому принципу *связи, накладываемые базовой деталью на присоединяемую, должны располагаться на возможно большем базисе.* Тогда погрешность углового положения присоединяемой детали при прочих равных условиях будет наименьшей.

В случаях, когда в соединении деталей их повороты отнимаются сопряжением по нескольким поверхностям, необходимо, для исключения избыточности реальных связей, соответствующие базисы выполнять существенно разными по размерам.



На рис. 17 изображены схемы конструкций соединения вала 1 с подшипниками 2 для поворота зеркала вокруг оси Y.

Рисунок 17

Вариант, показанный на рис. 17а, уступает варианту, изображенному на рис. 17б, так как база между подшипниками B_1 , ограничивающая возможные повороты вала относительно осей Z , X , меньше базы B_2 при одном и том же габаритном размере L конструкции.

Рассмотрим вариант крепления мениска в оправе резьбовым кольцом, опирающимся на сферическую поверхность мениска (рис. 18а), и вариант, где контакт резьбового кольца происходит с плоской фаской мениска (рис. 18б). При малых расстояниях b между центрами кривизны сферических поверхностей линзы C_1 , C_2 ее поворот относительно осей X , Y в 1 варианте будет определяться главным образом зазором ΔC в посадке, в пределах которого возможен разворот $\Delta\varphi_{ZX} \approx \Delta C / (R_2 \cos \gamma)$.

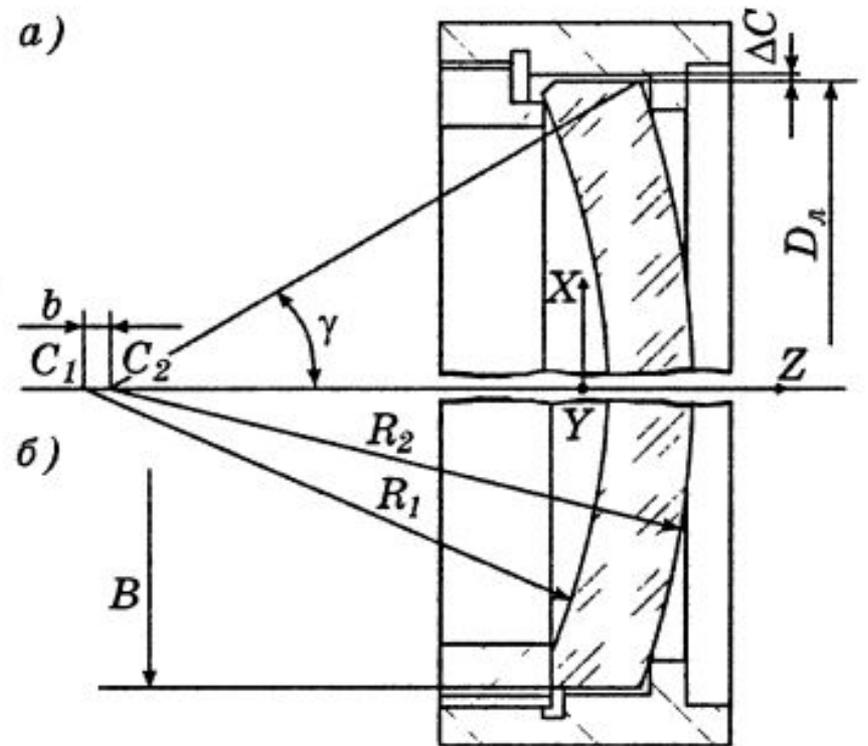


Рисунок 18

Во втором случае повороты мениска относительно осей X , Y из-за возможных дефектов (биений, перекосов) опорных торцов деталей Δt будут меньше благодаря большой базе B ограничивающей указанные повороты, и тому, что $\Delta t \ll \Delta C$; $\Delta\varphi_{YX} \approx 2\Delta t / B$.

ПРИНЦИП ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ВЫЛЕТОВ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ

- «Вылетом» рабочего элемента называют расстояние между ним и центром его возможного поворота в соединении.
- Суть принципа заключается в *ограничении продольного или поперечного* (иногда того и другого) *вылетов*, что позволяет уменьшить нежелательные (опасные) линейные смещения РЭС вдоль координатных осей при возникновении поворота рабочей детали относительно базовых элементов соединения из-за погрешностей формы сопрягаемых поверхностей, деформаций, зазоров и т. п.

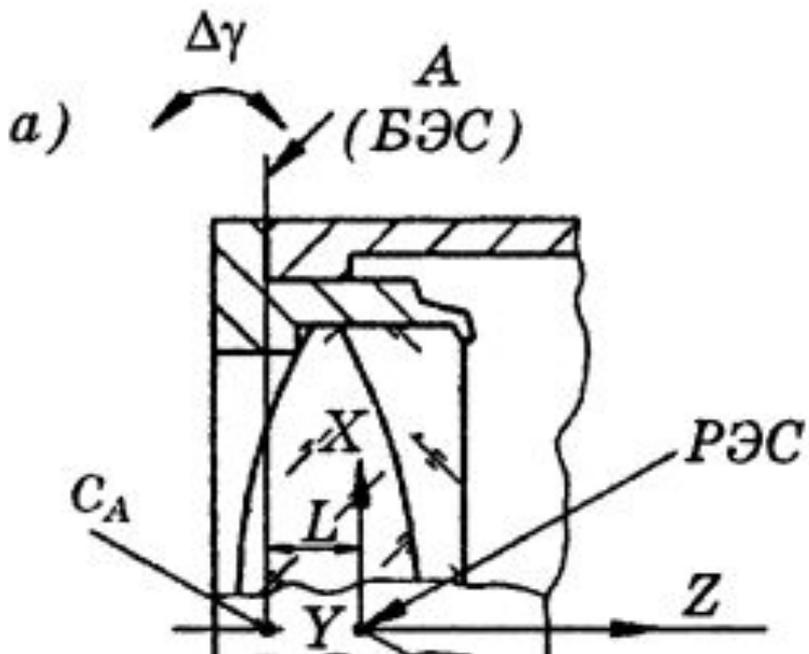
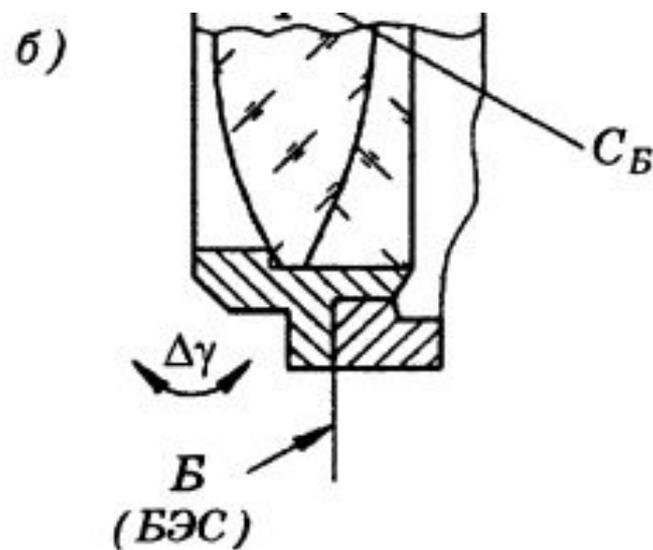


Рисунок 19

На рис. 19а изображена конструкция соединения оправы объектива с тубусом, где узловая точка объектива, представляющая РЭС, имеет продольный вылет L относительно центра поворота C_A оправы из-за погрешностей сопрягаемых поверхностей A . В результате возникает смещение (децентрировка) узловой точки вдоль осей X, Y , пропорциональное вылету L при наклонах оправы на угол $\Delta\gamma$:

$$\Delta X_{\Delta\gamma}, \Delta Y_{\Delta\gamma} \approx L\Delta\gamma.$$

Сопряжение оправы с тубусом по поверхности B (рис. 19б) позволяет избавиться от L , так как здесь узловая точка объектива и центр возможного поворота C_B лежат в одной плоскости (совпадают), что не вызывает децентрировки объектива при наклонах оправы.



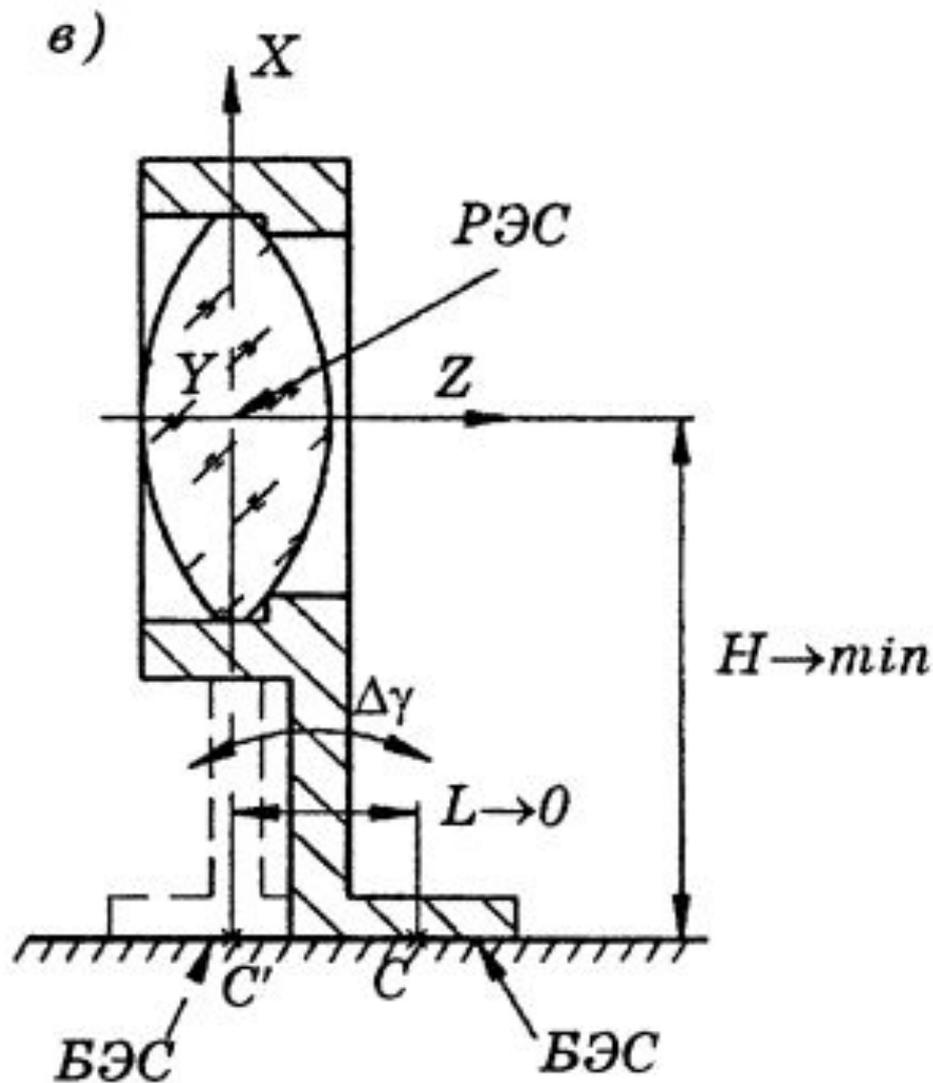
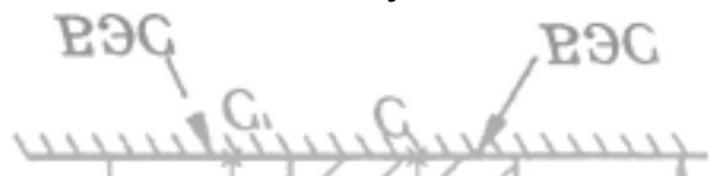


Рисунок 20



Базирование оправы линзы (рис. 20) в кронштейне, устанавливаемом на рейтере, приводит к тому, что узловая точка линзы (РЭС) имеет поперечный H и может иметь продольный L вылеты относительно возможного центра поворота оправы C . В результате при повороте оправы на угол $\Delta\gamma$ РЭС имеет смещение (расфокусировку) вдоль оси Z ($\Delta Z_{\Delta\gamma} \approx H_{\Delta\gamma}$) и децентрировку вдоль оси X ($\Delta X_{\Delta\gamma} \approx L_{\Delta\gamma}$). Штриховой линией на этом рисунке изображена конструкция кронштейна, позволяющая ограничить вылет L .

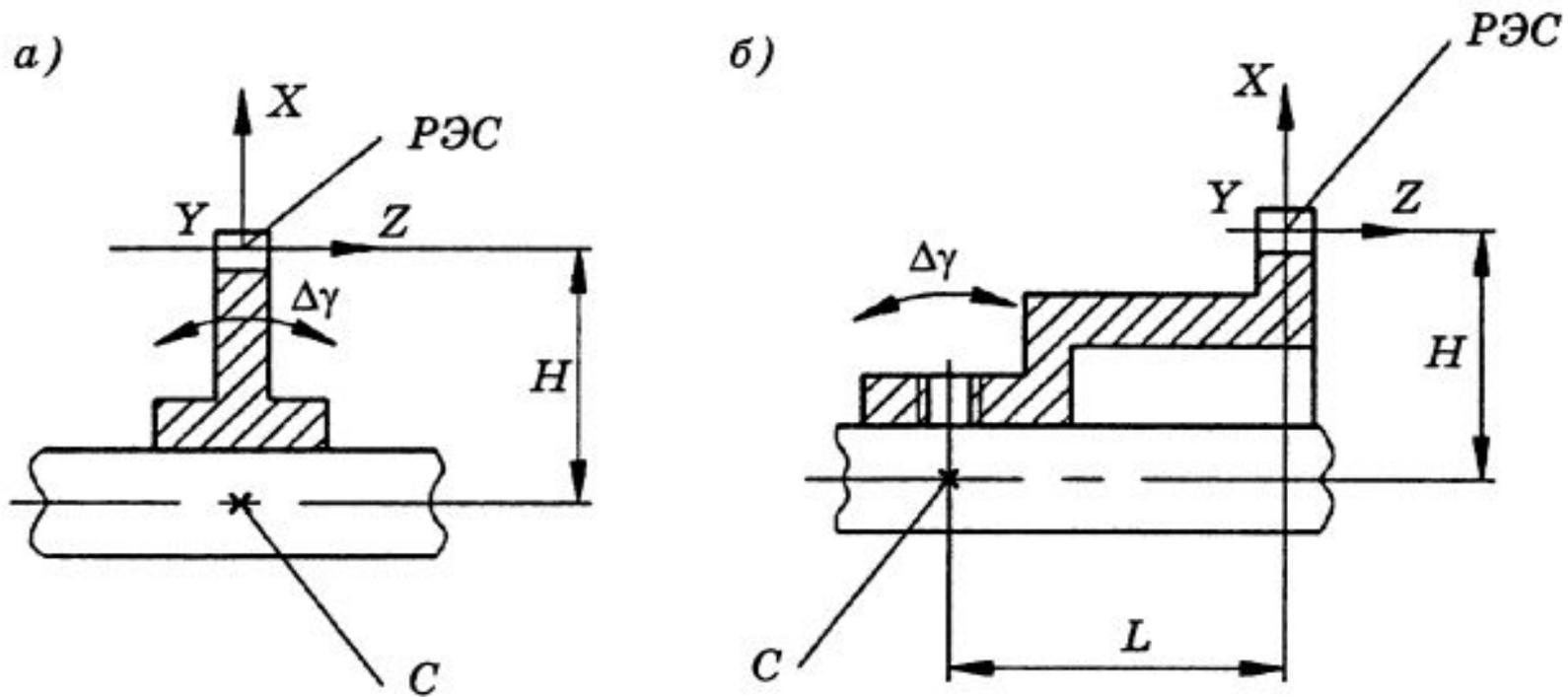


Рисунок 21

На рис. 21 показаны конструкции соединения прямозубого колеса с валом. Вылет H для прямозубого колеса не опасен, так как приводит к смещению РЭС вдоль образующих зубьев при наклоне на $\Delta\gamma$ (для косозубого и конического колес этот вылет будет опасным). Продольный же вылет L при возникновении $\Delta\gamma$ создает радиальное биение зубчатого венца, поэтому должен быть ограничен (т. е. вариант конструкции на рис. 20а предпочтительнее варианта на рис. 20б).

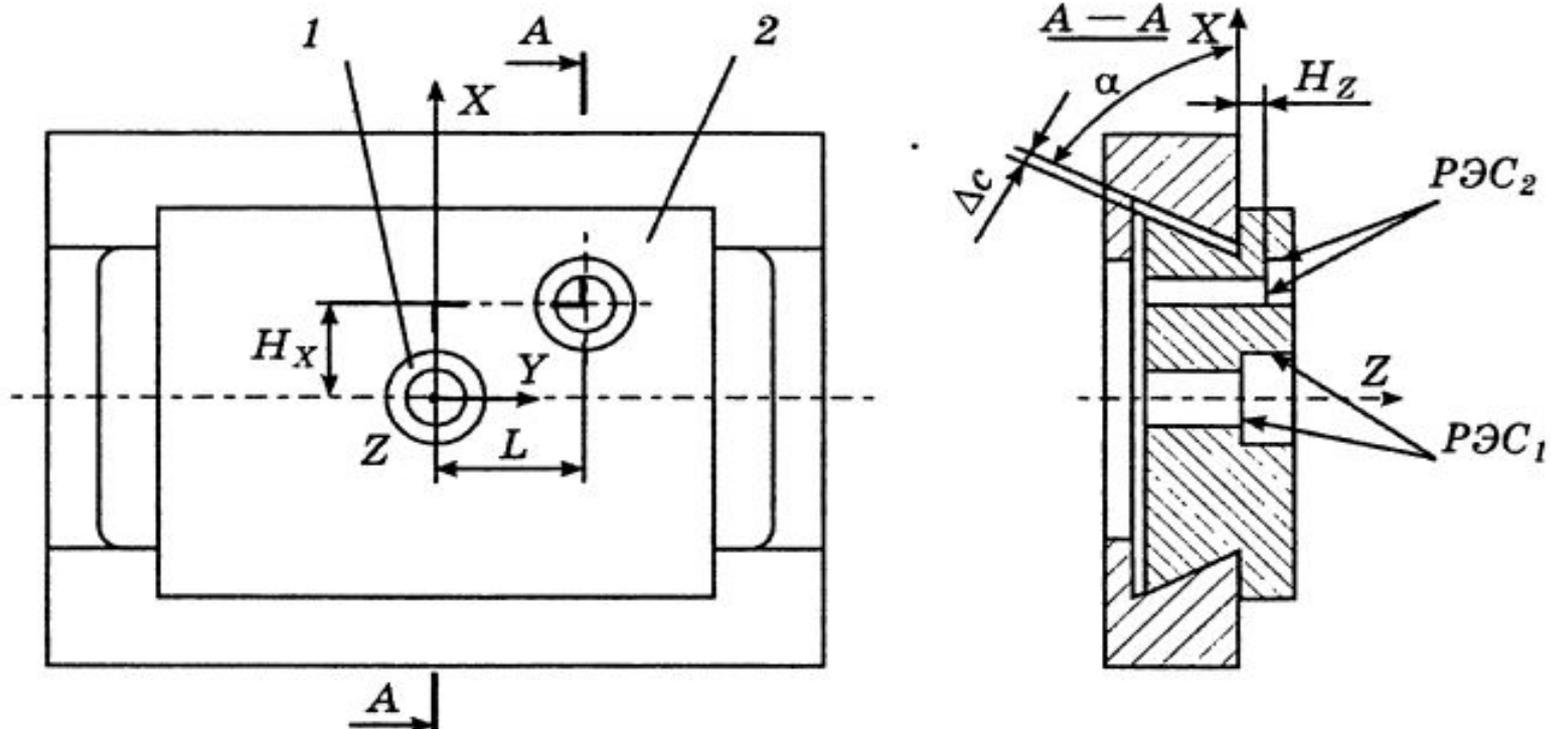


Рисунок 22

Отверстие 1 под сетку или фотоприемник в ползуне (рис. 21), перемещающемся вдоль оси Y , выполнено с учетом рассматриваемого принципа, а отверстие 2 — с нарушением его. Поэтому при возникновении поворотов ползуна вокруг осей X , Y , Z на некоторый угол $\Delta\varphi$ РЭС, имеющий продольный L и два поперечных H_x , H_z вылета, будет иметь линейные смещения вдоль соответствующих осей, пропорциональные вылетам:

$$\begin{aligned}
 \Delta Y_{\Delta\varphi_X} &= H_z \Delta\varphi_X; & \Delta Y_{\Delta\varphi_Z} &= H_x \Delta\varphi_Z; \\
 \Delta X_{\Delta\varphi_Z} &= L \Delta\varphi_Z; & \Delta X_{\Delta\varphi_Y} &= H_z \Delta\varphi_Y; \\
 \Delta Z_{\Delta\varphi_X} &= L \Delta\varphi_X; & \Delta Z_{\Delta\varphi_Y} &= H_x \Delta\varphi_Y.
 \end{aligned}$$

УЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ СОЕДИНЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Этот принцип заключается в обеспечении отсутствия возможных деформаций и смещений сопрягаемых деталей в соединении при отклонении температуры от номинального значения.

Чаще всего указанные дефекты возникают из-за разности коэффициентов, линейного расширения материалов базовой и присоединяемой деталей.

Для соблюдения принципа следует обеспечить возможность относительного изменения размеров деталей (при отклонении температуры) без нарушения их взаимного базирования благодаря:

выбору соответствующих зазоров в посадке,

упругому силовому замыканию,

целенаправленному подбору материалов и размеров деталей,

применяя термокомпенсаторы

Когда коэффициенты линейного расширения материалов оправы α_1 и линзы α_2 различны, отклонение температуры от номинального значения приводит к изменению:

- ✓ диаметров D линзы и оправы;
- ✓ диаметров D_0 и D_K ;
- ✓ размера t .

Это может вызвать либо деформацию линзы (и оправы), либо смещение линзы в зазоре.

Например, когда посадка линзы в оправу по диаметру D обеспечивает необходимый температурный зазор, деформация или зазор возникают из-за несоответствия изменений D_0 и t линзы и оправы.

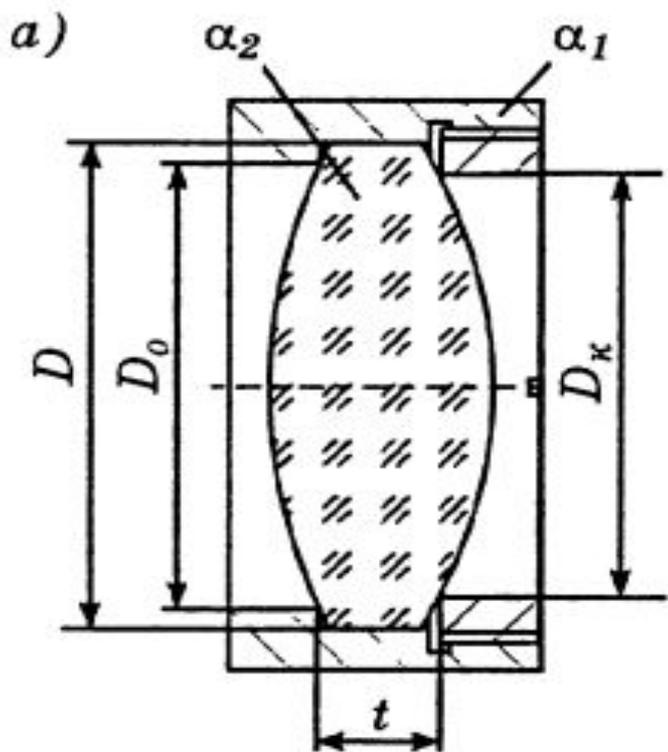


Рисунок 22 а
Соединение линзы с оправой с помощью резьбового кольца

Пружинное кольцо, помещенное между линзой и резьбовым кольцом (рис. 22 б), позволяет избежать указанных недостатков (при достаточном температурном зазоре в посадке), так как компенсирует осевое изменение размеров линзы и оправы, а также изменение диаметров D_0 , D_K .

В некоторых случаях для уменьшения влияния изменения температуры на качество соединения оправы с линзой последнюю выполняют с П-образным буртиком (см. рис. 16б).

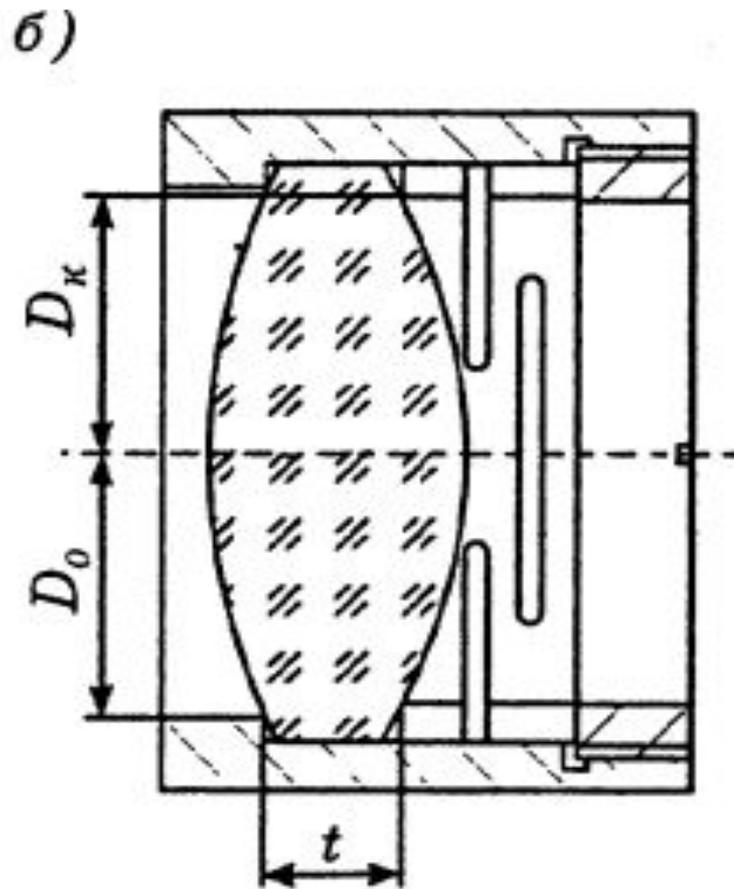


Рисунок 22 б
Соединение линзы с оправой с помощью резьбового кольца с использованием пружинного кольца

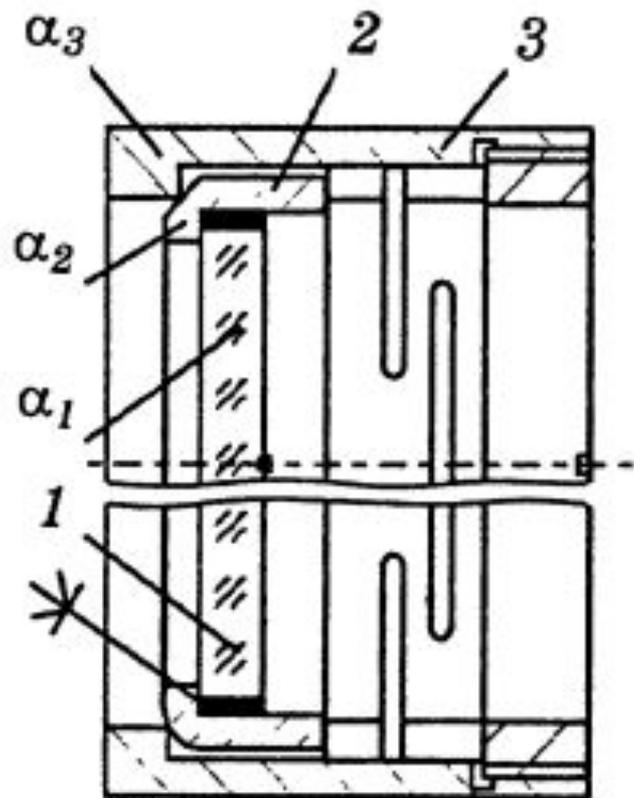
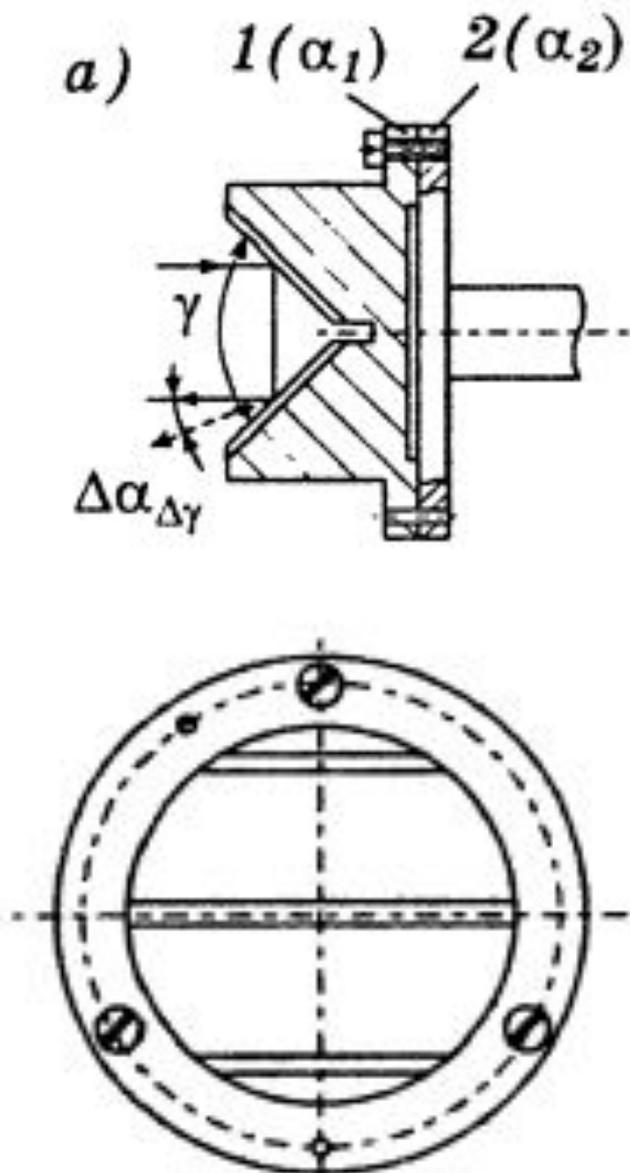


Рисунок 23

Показанная на рис. 23 конструкция крепления сетки в оправе 2 и корпусе 3 выполнена с учетом рассматриваемого принципа.

Здесь коэффициент $\alpha_1 \approx \alpha_2$ (незначительное отличие коэффициентов компенсируется упругими свойствами герметика, которым зафиксирована сетка в оправе).

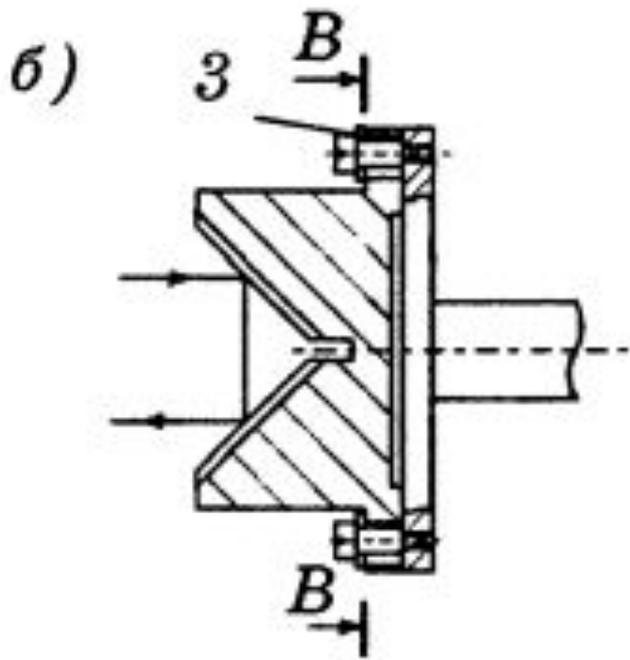
Влияние значительного отличия α_2 от α_3 компенсируется базированием оправы в корпусе по конической (или сферической) поверхности и упругому силовому замыканию соединения посредством пружинного и резьбового колец.



На рис. 24а изображена конструкция соединения углового металло-стеклянного отражателя 1 с базовой деталью 2, которые выполнены из материалов, имеющих различные коэффициенты линейного расширения α_1 и α_2 .

При отклонении температуры изменяется угол у отражателя, что приводит к отклонению пучка лучей на $\Delta\alpha_{\Delta T}$, так как жесткое винто-штифтовое соединение деталей 1 и 2 приводит к их деформации.

Рисунок 24а



Конструкция, изображенная на рис. 24б, позволяет избежать этого дефекта, так как благодаря

- ✓ бобовидным пазам отражателя, расположенным вдоль осей X , Y ,
- ✓ упругим шайбам 3,

имеется возможность взаимного перемещения соответствующих элементов деталей 1 и 2.

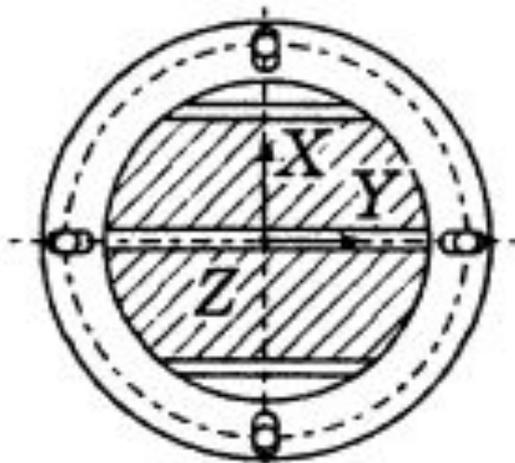
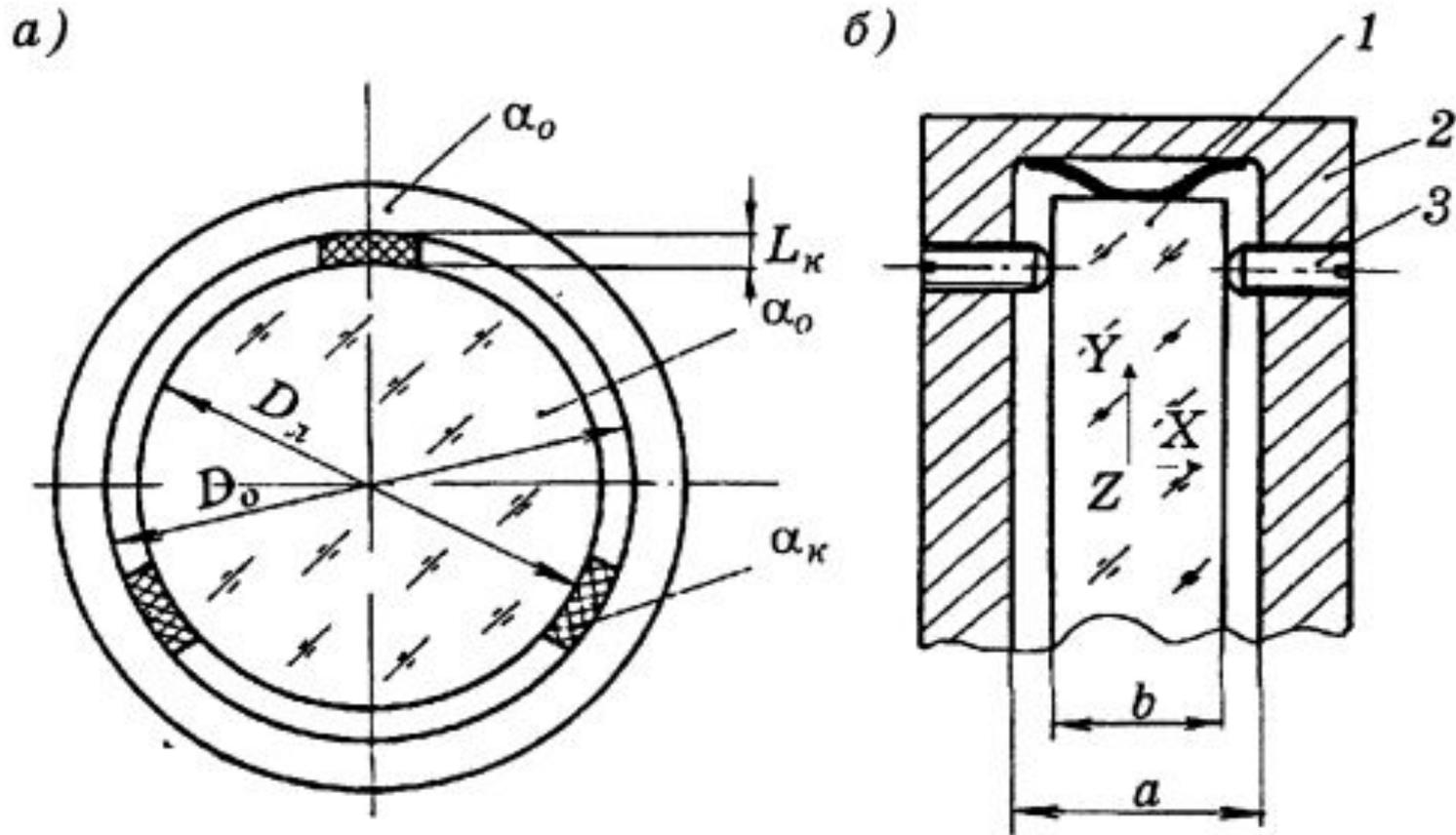


Рисунок 24б

• Для обеспечения рассматриваемого принципа в некоторых соединениях должны быть предусмотрены термокомпенсаторы.

Например, при закреплении линз и зеркал больших диаметров, работающих при значительных перепадах температуры, между ними и оправами устанавливают термокомпенсаторы (рис. 25)



Расчет термокомпенсатора (рис. 25а) производится на основании зависимости:

$$2L_K \alpha_K \Delta t = D_0 \alpha_0 \Delta t - D_L \alpha_L \Delta t,$$

L_K — размер компенсатора;

D_0 — диаметр оправы;

D_L — диаметр линзы;

$\alpha_K, \alpha_0, \alpha_L$ — коэффициенты линейного расширения материалов компенсатора, оправы и линзы соответственно;

Δt — изменение температуры.

Так как $D_a = D_n + 2L_K$, то $L_K = D_L (\alpha_0 - \alpha_L) / [2(\alpha_K - \alpha_0)]$.

Чтобы не возникали температурные деформации дифракционной решетки 1, зафиксированной в оправе 2 котировочными винтами 3 (рис. 25б), необходимо, чтобы ширина b решетки, размер паза a оправы и коэффициенты линейного расширения оправы α_0 , решетки α_p и винтов α_b , причем $\alpha_p < \alpha_0 < \alpha_b$ или $\alpha_b < \alpha_0 < \alpha_p$ подчинялись соотношениям, аналогичным выражению :

$$a = b [1 + (\alpha_0 - \alpha_p) / (\alpha_b - \alpha_0)];$$

$$a = b (\alpha_p - \alpha_b) / (\alpha_0 - \alpha_b).$$

ТОЧНОСТНАЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ СЛЕДИНЕНИЙ

Технологичность соединения определяется:

- ✓ *трудоемкостью сборки,*
- ✓ *трудоемкостью контроля качества сборки,*
- ✓ *уровнем необходимой квалификации персонала.*

Наиболее технологичными являются соединения, которые могут быть собраны с использованием автоматического оборудования и промышленных роботов. Конструктор должен руководствоваться не только рассмотренными общими принципами конструирования соединений (выполнение которых, как правило, повышает их технологичность), но и частными правилами, касающимися автоматизации сборочных операций.

Требования, необходимые для автоматизации сборочных операций:

Обеспечение полной взаимозаменяемости деталей;

Стремление к симметрии относительно наибольшего числа осей;

Минимизация числа соединительных элементов;

Исключение одновременного начала контактирования сопрягаемых деталей по нескольким поверхностям;

Осуществление центрирования с помощью вращательно-симметричных деталей;

Предотвращение кинематически сложного движения рабочей детали в положение для сборки с базовой.

Одно из основных требований к качеству соединений — *точность расположения их рабочих элементов относительно базовых.*

Оно достигается благодаря *точному изготовлению соответствующих элементов сопрягаемых деталей, а также с помощью их доводок и регулировок в соединении.*

Получаемую при этом точность соединений можно отнести к группам

□ *пониженной,*

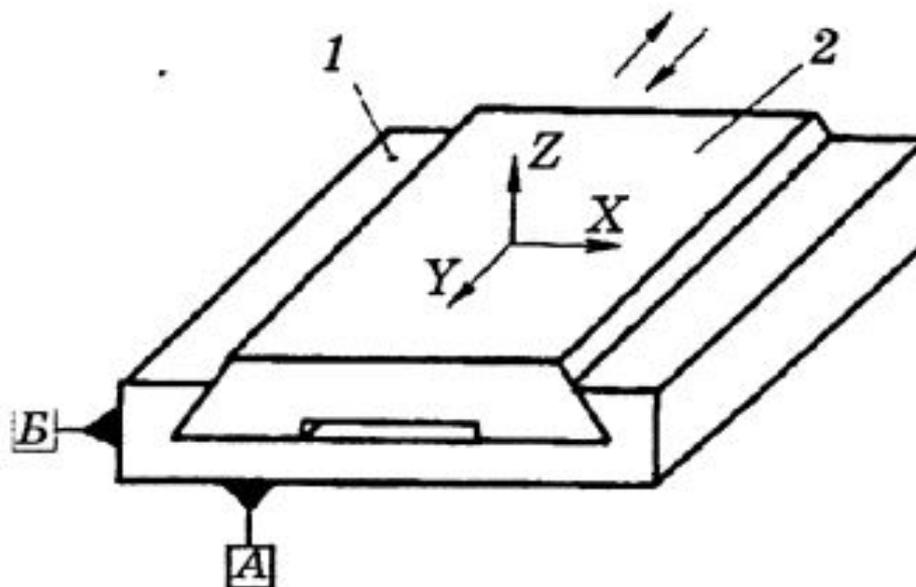
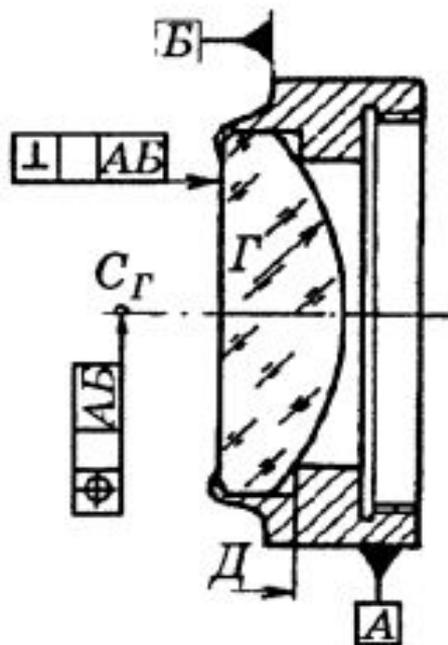
□ *средней*

□ *высокой точности,*

которые по соответствующей трудоемкости их достижения аналогично точности изготовления деталей называют часто **экономическим, производственным и техническим уровнями точности сборки деталей.**

Экономический уровень

Экономическому уровню соответствует точность, достигаемая при сборке деталей без последующих пригонок и регулировок. Точность расположения рабочих элементов соединения относительно базовых при этом определяется погрешностями изготовления и сборки соответствующих элементов сопрягаемых деталей.



На рис.26 в качестве примера этого уровня сборки показаны соединения плоско-выпуклой линзы с оправой и призматических направляющих типа «ласточкин хвост» с ползуном с обеспечением для последнего определенной прямолинейности хода относительно баз *A* и *Б*.

Неперпендикулярность плоской поверхности линзы к базовой оси *AB* оправы и отклонение центра кривизны поверхности *Г* от *AB* зависят, например, от:

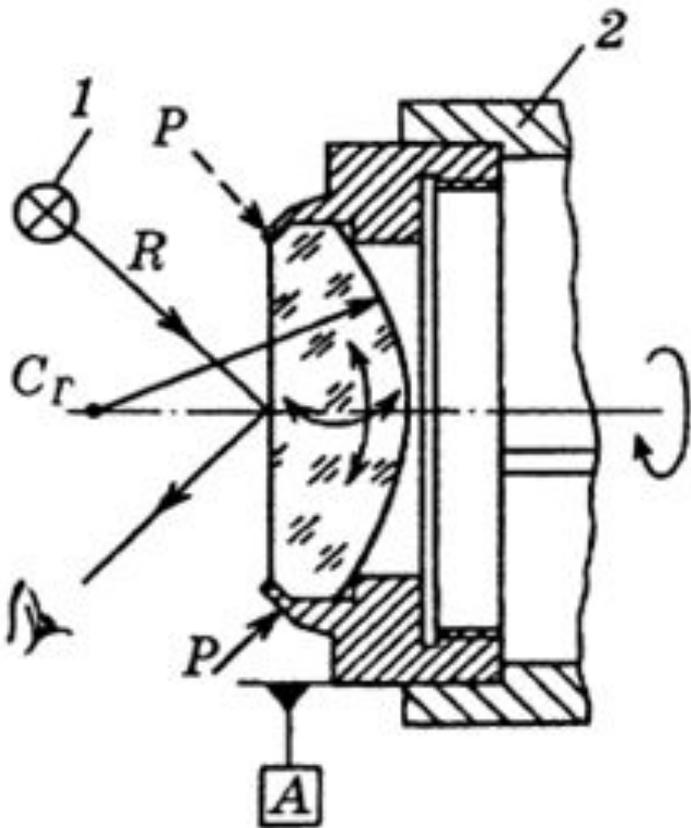
- ❖ биения опорного торца *Д* оправы,
- ❖ несоосности оси посадочного отверстия оправы под линзу и оси *AB*,
- ❖ децентрировки самой линзы,
- ❖ неравномерности деформаций кромки оправы при завальцовке.

Прямолинейность хода ползуна в вертикальной и горизонтальной плоскостях будет определяться погрешностями посадочных размеров и формы сопрягаемых поверхностей деталей *1* и *2*.

Производственный уровень

- *Производственному уровню* соответствует точность, достигаемая при сборке с применением пригонки, регулировки и универсального оборудования и инструмента, и контролем на качественном уровне либо простейшими контрольными и измерительными средствами (индикаторами, калибрами, уровнями, шаблонами и т. п.).

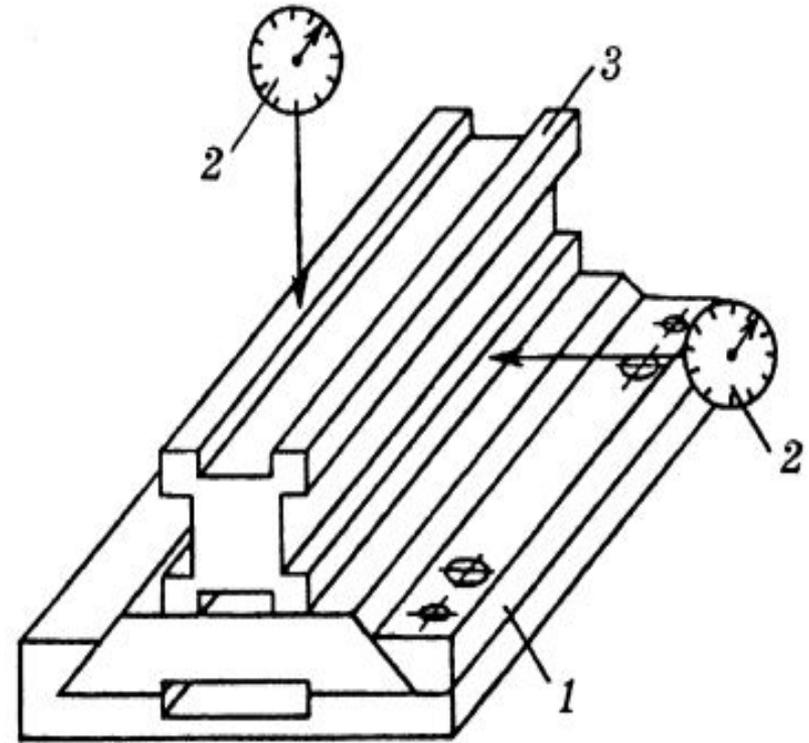
Точность соединения тогда будет выше, так как часть погрешностей деталей компенсируется. Естественно, трудоемкость этой сборки будет выше.



Например, для повышения точности рассмотренного соединения линзы с оправой при ее завальцовке (рис. 27) используют источник света 1 (лампу), биение отраженного изображения которого от плоской поверхности линзы при вращении цанги 2 станка будет указывать на неперпендикулярность этой поверхности к оси цилиндра А. Механик, создавая инструментом для завальцовки силу P , деформирует соответствующую часть кромки оправы так, чтобы поворотом линзы вокруг центра кривизны C_r сферической поверхности установить плоскую поверхность перпендикулярно к оси вращения шпинделя станка.

Заметим, что возможная децентрировка C_r относительно оси $АБ$ при этом не устраняется.

Повышение же точности прямолинейности хода ползуна в направляющих типа «ласточкин хвост» (рис. 28) может быть достигнуто регулировкой одной из салазок (планки, щеки 1), что требует выполнения конструкции направляющих полуоткрытого, а не глухого (как на рис. 26) типа. Контроль качества регулировки и достигнутой прямолинейности хода ползуна может быть осуществлен, например, с помощью лекальной линейки 3 и индикаторов 2 при возвратно-поступательном движении ползуна в направляющих.

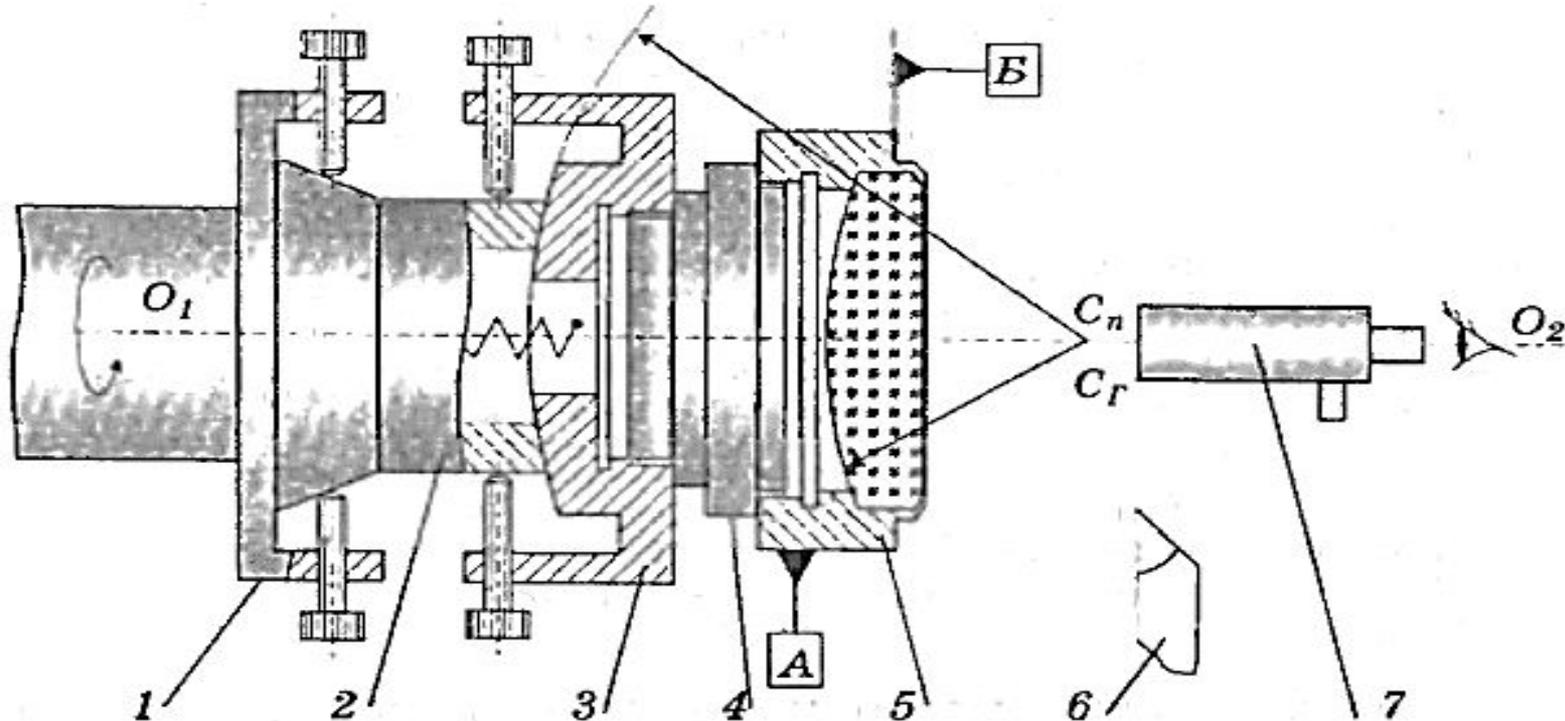


Технический уровень

Техническому уровню соответствует точность, достигаемая при сборке с пригонками, регулировками и доводками и контроле с помощью прецизионных средств (автоколлиматоров, микроскопов, интерферометров и т. д.), а также обеспечением соответствующих условий производства (стабилизации температуры, защиты от вибраций, чистоты рабочих мест и т. п.).

Например, наиболее высокую точность центрирования линз относительно своих оправ можно достигнуть путем *регулировок положения линз* (сдвигом, разворотом, наклоном) либо *осуществляя результативную обработку оправ от оптической оси линзы*.

Результативная обработка оправы (изготовленной с припуском) в размер производится после сборки с линзой на токарном станке со специальным («плавающим») патроном, позволяющим совместить оптическую ось линзы с осью шпинделя станка (рис. 29).

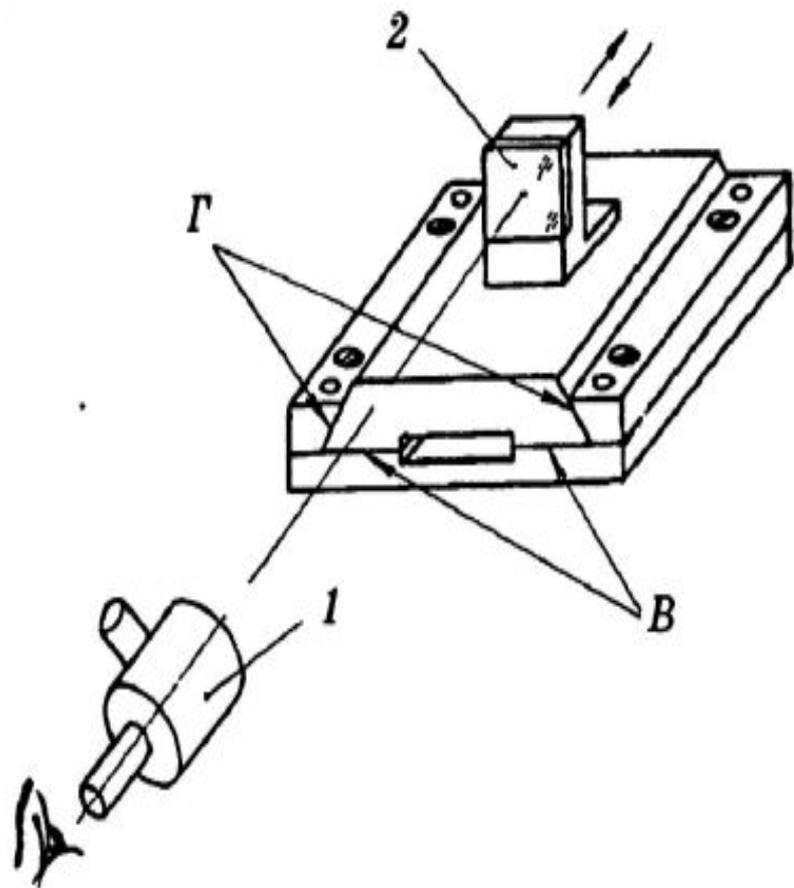


Перемещая винтами часть патрона 2 перпендикулярно к оси $O_1 - O_2$ шпинделя станка, на котором закреплена часть патрона 1, приводят центр кривизны C_r сферической поверхности линзы на эту ось, наблюдая за биением центра кривизны в автоколлимационную центрировочную трубу 7 Забелина (ЮС-13).

Затем, поворачивая часть патрона 3 вокруг центра C_n его сферы, (расположенного на оси $O_1 - O_2$, устанавливают плоскую поверхность перпендикулярно к оси шпинделя (либо выводят центр второй поверхности линзы на эту ось, если не плоская).

Чтобы не сбивалась установка центра C_{Γ} , он должен находиться в одной плоскости с центром C_{Π} . Это осуществляется с помощью сменных переходников 4. После совмещения оптической оси линзы с осью шпинделя станка базовые поверхности A и B оправы 5 подрезаются резцом 6 в номинальный размер. При этом компенсируется децентрировка линзы, обусловленная биением опорного торца оправы, несоосностью посадочного отверстия под линзу и базового цилиндра, смещением линзы в зазоре посадки и собственным эксцентриситетом.

Остаточная децентрировка линзы относительно базовой оси оправы невелика (по сравнению с экономическим и производственным уровнями точности сборки) и определяется биением шпинделя станка, деформацией патрона и погрешностью совмещения оптической оси линзы с осью шпинделя станка.



Более высокую точность прямолинейности и плавности хода ползуна в направляющих типа «ласточкин хвост» можно достичь после регулировки планки 1 (рис. 28), совместной притиркой ползуна и направляющих либо притиркой на планшайбе с наждаком (или шабровкой) поверхностей В, Г ползуна и направляющих, которые выполняются для этого открытого типа (рис. 30), а контроль прямолинейности хода проверять с помощью автоколлиматора 1 и зеркала 2, установленного на ползуне. Трудоемкость сборки здесь будет еще выше.

Для современного уровня приборостроения ориентировочные значения достигаемой точности расположения элементов соединения относительно базовых, соответствующие экономическому, производственному и техническому уровням точности сборки, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни точности сборки	Характеристика сборки	Контроль точности сборки	Погрешность	
			Линейная мкм	угловая, ..."
Экономический	Без регулировок	Без контроля	10-50	30-120
Производственный	С пригонками и регулировками	На качественном уровне, с использованием простых средств	5-10	5-30
Технический	С пригонками, регулировками, доводками	С использованием прецизионных средств	0,1-5	1-5