

## **ФУ точного позиционирования**

Группа подвижных систем представляет собой устройства , обеспечивающие позиционирование прибора на объект наблюдения или измерения. Процесс позиционирования заключается в приведении рабочего элемента ФУ в заданное, обусловленное работой прибора положение. Результатом позиционирования является совмещение реперных элементов прибора и объекта. В некоторых случаях реперные элементы отсутствуют и результат позиционирования может оцениваться по резкости видимого изображения объекта ( например; изображение в микроскопе, телескопе, геодезическом приборе и т.д.)

Позиционирование называют **точным** когда оно регламентируется количественным допуском (или условием) на точность совмещения.

Роль рабочего элемента ФУ позиционирования в ОЭП могут выполнять ;

- **оптическая система** (зрительная труба, трубка микроскопа, фото- и киносъёмочный объективы и т.д.);
  - **отдельный элемент оптической системы** (поворотное зеркало, призма и т.д.);
  - **чувствительный элемент** измерительной цепи прибора.
- Как правило, рабочий элемент ФУ в то же время является исполнительным элементом подвижной системы.

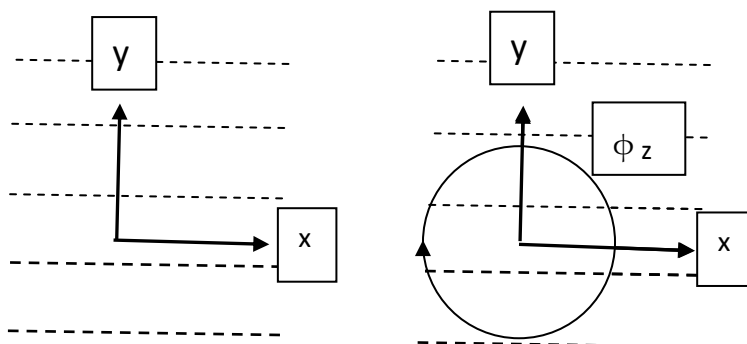
## **Назначение и виды позиционирования**

В ОЭП позиционирование различается:

- **по назначению** включается внешнее ориентирование оптической системы относительно объекта наблюдения; внутреннее взаимное ориентирование элементов прибора при выполнении регулировочно-юстировочных операций:
- **по виду реализации** (реперное или безреперное):
- **по критериям оценки** результата (точность, эргономичность):
- **по уровню точности**

При внешнем ориентировании во всех случаях применения ОЭП (наблюдения, измерения или управления процессами) выполняются наводки оптической системы по одной или двум

пространственным координатам.: смещение по двум осям или смещение по одной оси и поворот вокруг этой же оси.



Такие способы ориентирования используются при позиционировании окуляра относительно объектива телескопа, позиционирование оптической системы микроскопа относительно объекта наблюдения.

**В приборах дальнего действия** объектами наблюдения являются разнообразные предметы на местности (вехи, мачты, здания и т.д.). Позиционирование выполняется (как правило) в полярной системе координат и заключается в приведении изображения объектов в центр поля зрения и совмещении его реперных элементов с реперными элементами визирной сетки. Это совмещение выполняется чаще всего по методу наложения.

Позиционирование приборов проводится для наблюдения с целью распознавания и изучения объектов, измерения их координат и для управления специальными устройствами спецтехники, например стрельбой – позиционирование в этих случаях является точным, так как влияет непосредственно на точность выполнения приборами их функций.

**Позиционирования фото- и киносъемочной аппаратуры** выполняется в полярной системе, но в отличие от приборов дальнего действия оно является безреперным, т.к. служит лишь для совмещения объекта съемки с кадровым окном визирного устройства и не связано с измерениями. Поэтому основным требованием к несущей системе этой аппаратуры является надежность и простота позиционирования. Точность в этом случае не регламентируется.

**В приборах ближнего действия** (микроскопах всех видов и назначений, а также многие лабораторные ОП, применяемые для оптических измерений) внешнее ориентирование осуществляется в прямоугольной системе координат. Ориентирование производится либо перемещением оптической системы, либо объекта совместно с предметным столиком. Цель позиционирования та же; приведение объекта в центр поля зрения. В случае измерений - совмещение его реперных элементов с реперными элементами визирных сеток приборов.

**Позиционирование в целях внутреннего ориентирования элементов** конструкции прибора разнообразно по назначению, способам выполнения и контролю результата. Наиболее широко это позиционирование имеет место в устройствах настройки приборов, где встречается как реперное так и безреперное позиционирование.

Особым случаем позиционирования для внутреннего ориентирования элементов является осуществление малых смещений в процессе сборки прибора при регулировочно – юстировочных операциях. В этих случаях контроль точности позиционирования производится с помощью универсальных измерительных приборов и средств.

## **Способы управления и режимы точного позиционирования**

Управление **точным** позиционированием реализуется двумя способами:

- **ручное**
- **автоматизированное.**

Автоматизированное управление применяется в тех случаях, когда имеет значение быстроедействие функционирования. Ручное управление позиционированием обычно сопряжено с визуальным контролем результата и осуществляется с помощью простейших средств - органов управления в виде маховиков на входе кинематической цепи подвижной системы.

Ручное управление имеет некоторые преимущества:

- простота конструктивных решений,
- адаптивность к условиям выполнения процесса,
- высокая надежность.

Недостатки:

- невысокое быстроедействие ,
- зависимость точности позиционирования от условий наблюдения за совмещением ( освещенность и контрастность).

Указанные преимущества ручного управления определяет его применение и до настоящего времени, особенно в приборах нестационарного типа.

Основными преимуществами автоматизированного управления является быстроедействие и более высокая точность контроля результатов позиционирования. Широко распространено автоматизированное управление в случаях непрерывного слежения за тем или иным объектом. Точность автоматизированного управления позиционированием составляет для линейных размеров 0,05 мкм, что практически недостижимо при ручном управлении.

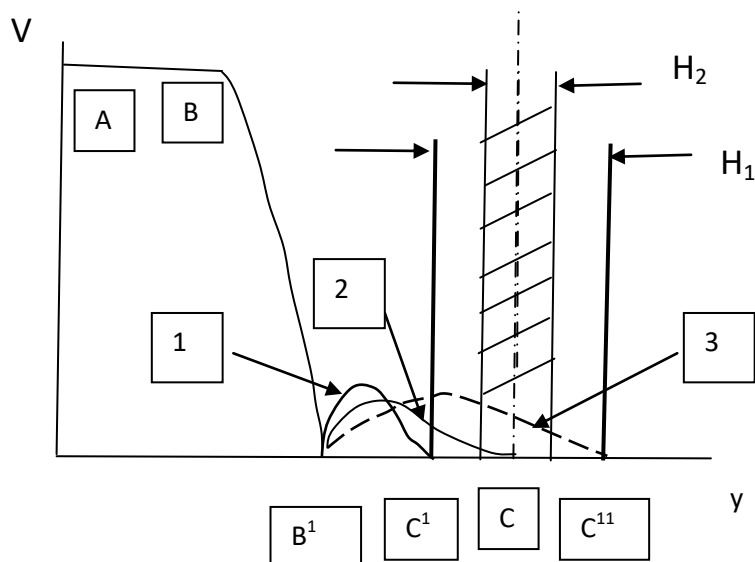
Однако, автоматизация управления приводит к значительному усложнению конструкции прибора в целом, снижению надежности и повышению стоимости. Существует правило, согласно которого надежность системы тем ниже, чем больше элементов она включает.

Режимы точного позиционирования характеризуются относительной скоростью сближения рабочего элемента функционального устройства с реперным элементом объекта. Это сближение сопровождается динамическими явлениями (вследствие инерции), возникающими при этом в элементах конструкции функциональных устройств.

Скорость сближения и динамические процессы в случаях ручного и автоматизированного управления :

- при ручном – по мере приближения рабочего элемента к реперному элементу объекта происходит управление скоростью, а во втором – скорость постоянна почти до самого момента совмещения и остановки рабочего элемента.

Рассмотрим режим позиционирования при ручном управлении. Задачей является приведение репера прибора в так называемую зону совмещения, которая определяется допустимой точностью позиционирования.



При ручном управлении участок АВ – грубое сближение, выполняемое с наибольшей скоростью;

$BB^1$  – участок уменьшения скорости и первой остановки в точке  $B^1$  обусловленной психологическими факторами.

Положение точки  $B^1$  – случайно и определяется тренированностью, остротой зрения и освещенностью. Зоны совмещения при низких  $H_1$  и высоких  $H_2$  определяются требованиями к точности позиционирования. Далее после точки  $B^1$  оператор делает попытку совмещения с точкой  $C$ . Однако в силу того, что развиваемый импульс на участке разгона различен может получиться траектория либо 1 либо 3. Размер поля рассеяния  $C^1 - C^{11}$  зависит от многих факторов: момента начала движения рукоятки управления, конструктивных параметров рукоятки (диаметр, форма), тренировки и психологии оператора. Тренированный оператор совмещает положение при зоне совмещения 0,1- 0,15 мм за одну попытку во второй фазе.

Обычно третья стадия состоит из ряда корректировочных попыток, выполняемых с большей тщательностью и существенно меньшими скоростями, т.е. носит итерационный характер и процесс совмещения значительно замедляется.

Таким образом, процесс позиционирования можно рассматривать как случайный процесс. Число необходимых полезных попыток в этом случае зависит от закона распределения рассеяния порогов для каждой попытки, соотношения между полем рассеяния порогов и зоны совмещения.

Рассматривая каждую попытку как случайное событие, найдем общее выражение для определения числа необходимых попыток.

Обозначим вероятность совмещения рабочего элемента с допустимой зоной совмещения за одну попытку через  $P(x_i)$ , тогда вероятность совмещения за  $n$  последовательных попыток будет равна сумме вероятностей для отдельных попыток

$$P(\sum_{i=1}^n x_i) = \sum_{i=1}^n P(x_i)$$

Общая вероятность совмещения соответствует реализации совмещения за  $n$  попыток. Иначе при определенном  $n$  совмещение происходит. Тогда

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1$$

В первом приближении можно положить, что вероятности отдельных попыток в пределах зоны  $N$  одинаковы

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = n P(x_i) = 1$$

$$n = 1 / P(x_i)$$

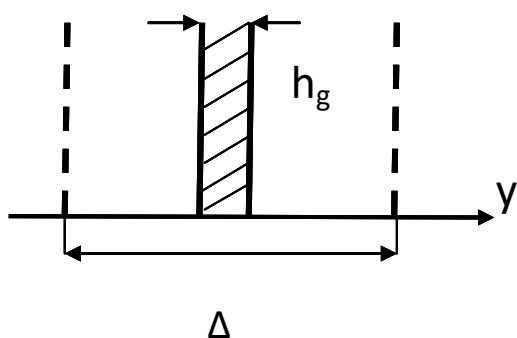
В результате приведенного рассмотрения можно сделать вывод, что количество попыток  $n$ , а следовательно время совмещения, определяется по характеристикам распределения рассеяния порогов.

В настоящее время нет достаточно надежных данных о действительных законах распределения рассеяния пороговых смещений в зависимости от условий выполнения точного позиционирования. В связи с этим строгий расчет числа корректировочных попыток совмещения рабочего элемента функционального устройства с зоной совмещения пока затруднителен.

Однако вопрос определения  $n$  на стадии разработки функционального устройства в некоторых случаях является особо важным:

- например оптические приборы военного назначения, где время наведения является особо важным параметром.

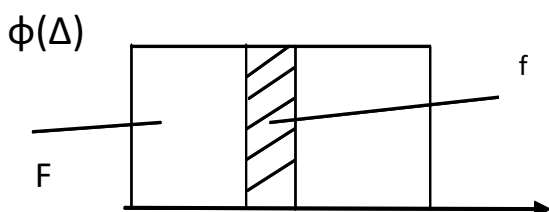
Представим схему позиционирования.



$h_g$  - ширина допустимой зоны совмещения  
 $\Delta$  - поле рассеяния порогов

Наиболее простыми являются случаи, когда распределение плотности вероятности равномерно.

Обозначим через  $f$  - площадь перекрытия допустимой зоны совмещения и поля рассеяния, а  $F$  - площадь под функцией распределения порогов. Тогда вероятность совмещения можно представить как отношение площадей.



$$P(x) = f / F = h_g / \Delta$$

$$n = \Delta / h_g$$

Из этого следует, что при равномерном распределении плотности вероятности  $\phi(\Delta)$  вероятность совмещения не зависит от взаимного положения поля рассеяния порогов относительно зоны совмещения

В других случаях, например, если принять распределение плотности вероятности в виде треугольника, вероятность совмещения зависит от относительного положения зоны совмещения и поля рассеяния порогов. Т.е. при значительной разности между  $\Delta$  и  $h_g$  наиболее вероятным следует ожидать неравномерного распределения. Однако, вопрос об относительном положении  $\Delta$  и  $h_g$  изучен до настоящего времени не достаточно.

В некоторых конкретных случаях вместо повторения попыток совмещения операторы выполняют совмещение за одну попытку за счет резкого снижения скорости перемещения рабочего элемента.

Т.е. после точки  $B^1$  медленным перемещением совмещают положение рабочего элемента с допустимой зоной совмещения. В этом случае скорость определяется временем, которое необходимо для безошибочного опознания факта совмещения и составляет 1,5 – 1,8 секунды. Если принять перемещение равномерным, то при ширине зоны совмещения  $h = 10$  мкм скорость  $v = 0,007$  мм / сек. Эта скорость очень мала и ощутить ее могут только очень опытный оператор. При  $h = 200$  мкм получаем скорость

$v = 0,11$  мм / сек тоже очень мала и следовательно этот способ совмещения не может быть реализован в массовом применении.

Следовательно, для упрощения управления подвижной системой нужно увеличивать время наведения, либо увеличивать зону совмещения. В противном случае следует допускать итерационный способ наведения рабочего элемента.

## **Точность позиционирования**

При проектировании ФУ точность позиционирования имеет существенное значение в следующих случаях:

- 1 – при позиционировании в рабочее положение чувствительного элемента измерительного устройства с контролем совмещения его с реперным элементом объекта на выходе;
- 2 – при позиционировании рабочего элемента устройства управления путем ввода входных данных с контролем совмещения заданного отсчета с указателем на входе;
- 3 – при позиционировании в целях фокусировки оптической системы в случае малой глубины резкости объектива с контролем по резкости изображения.

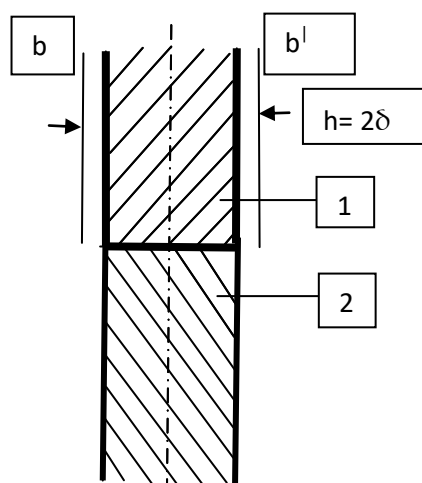
В первом случае процесс позиционирования завершается совмещением чувствительного элемента с реперным элементом объекта при визуальном наблюдении в поле зрения или на экране.

Совмещение реперных элементов прибора и объекта всегда происходит с некоторой погрешностью, которая обусловлена :

- пороговой чувствительностью подвижной системы к малым перемещениям;
- ограниченной точностью контроля совмещения и неидеальных значений геометрических и физических параметров реперных элементов.

Погрешность совмещения физически выражается в виде ошибки положения рабочего элемента относительно реперного элемента объекта, представляющей отклонение действительного положения рабочего элемента ФУ от номинального положения.





Например; имеется реперное устройство отсчета угла положения оси оптической системы 1 – реперный элемент прибора  
2 - реперный элемент объекта

Совмещение реперных элементов производится в пределах некоторой зоны рассеяния, размер которой определяется пороговой чувствительностью, а с другой - допустимой погрешностью позиционирования. Т.о. образуется зона рассеяния, ограниченная линиями  $b$  и  $b^*$ .

Величина зоны совмещения шкалы и указателя при ширине штрихов 0,2 – 0,3 мм при наблюдении невооруженным глазом и при допустимом размере погрешности совмещения до  $\pm 0,5$  ширины штриха составит 0,2 – 0,3 мм. Тогда величина ошибки положения рабочего элемента будет определяться соотношением цены деления и погрешностью совмещения штрихов.

Так если размер между штрихами 1мм, то совмещение дает ошибку 0,25 мм.

Тогда если цена деления соответствует  $1^0$ , то ошибка в положении оптической системы составит  $0,2 - 0,3^0$ , т.е. ошибка 30% довольно большая.

Ширина зоны совмещения при реперном позиционировании выбирается из условия  $\delta = \pm (1/5 - 1/10)$  доли цены деления отсчетного устройства.

## **Проектирование ФУ точного позиционирования**

При проектировании ФУ точного позиционирования необходимо соблюдать следующие основные принципы:

- **принцип кинематической чувствительности цепи** – согласно этому принципу всегда должен обеспечиваться запас количества движения на входе, чтобы надежно преодолевались пороговые явления, и обеспечивалась требуемая точность
- **принцип оптимизации нагрузки** (момента сопротивления) на входе цепи для ослабления роли пороговых явлений из-за ограничения психофизиологической чувствительности оператора к малым перемещениям при ручном управлении;
- **принцип кратчайшей кинематической цепи устройства**, избегая при этом сложных кинематических пар для ослабления пороговых явлений самой цепи;
- **принцип эргономичности управления** процессом позиционирования, поскольку даже пороговая психофизическая чувствительность зависят от расположения органов управления устройства относительно оператора.
- **принцип самофиксации цепи** в случае ручного управления точным позиционированием для избежания сбоя достигнутого совмещения. Самофиксация обеспечивается обычно путем включения в кинематическую цепь самотормозящих кинематических пар (винтовые или червячные пары) или с помощью тормозного устройства.

## **Порог чувствительности перемещения**

При корректировочном режиме позиционирования обнаруживается порог (предел) возможности оператора уменьшать корректировочные шаги или порции малых перемещений рабочего органа управления. В этом случае процесс совмещения становится реверсивным – т.е. смещения осуществляются в прямом и обратном направлениях перемещения рабочего элемента.

Т.о. предельные порции перемещения представляют собой те минимальные смещения рабочего органа, которые удается осуществить оператору при начале движения рукоятки управления с места.

Эти минимальные смещения называют характеристиками порога чувствительности устройства позиционирования к малым перемещениям или просто пороговыми перемещениями.

Рассмотрим, какие физические явления определяют существование порога перемещения. На основании опыта можно выделить три основные группы причин обуславливающих порог чувствительности позиционирования:

### **1 – погрешности срабатывания системы управления**

Первая группа причин при ручном управлении проявляется вследствие латентного периода сенсомоторной реакции человека (запаздывание реакции руки оператора на подаваемые ей сигналы на начало и остановку движения). Погрешность срабатывания зависят от диаметра рукоятки привода и момента сопротивления. Оптимальные значения 40 мм, момент сопротивления 2,5 Н см)

**2 – ограниченная чувствительность механической системы привода (Второй причиной)** является рассогласование между входным сигналом управления и реакцией рабочего элемента

- контактные деформации в выступах микроформы рабочих поверхностей элементов кинематических пар
- смещения в зазорах кинематических пар
- влияние вязкости смазки

**3 – ограниченная чувствительность и точность средств контроля совмещения.:(Третья группа причин)** определяется

- ограниченная острота зрения оператора
- латентный период

Полная ошибка позиционирования является суммой всех трех видов ошибок.

### **Чувствительность и масштаб преобразования движения**

При проектировании ФУ точного позиционирования существуют два основных ограничения

- с одной стороны необходимо обеспечить требуемую точность позиционирования;
- с другой – существует физиологическое ограничение на входное перемещение.

Естественно, что эти ограничения требуют согласования.

Для этого вводится функция  $S_{xy}$  - масштаб преобразования (или кинематическая чувствительность) подвижной системы

$$S_{xy} = \Delta x_{\text{порог}} / \Delta y_{\text{доп}},$$

где  $\Delta x_{\text{порог}}$  - порог чувствительности к перемещению на входе,

$\Delta y_{\text{доп}}$  - допуск на точность позиционирования.

Для практики величины  $\Delta x_{\text{порог}}$  исходят из целевого назначения прибора и для определения масштаба преобразования цепи рекомендуются следующие значения:

$\Delta x_{\text{порог}}$

Лабораторные оптические приборы

$0,5 - 1^0$

Полевые приборы гражданского назначения

$1 - 2^0$

Военные оптические приборы

$2 - 5^0$

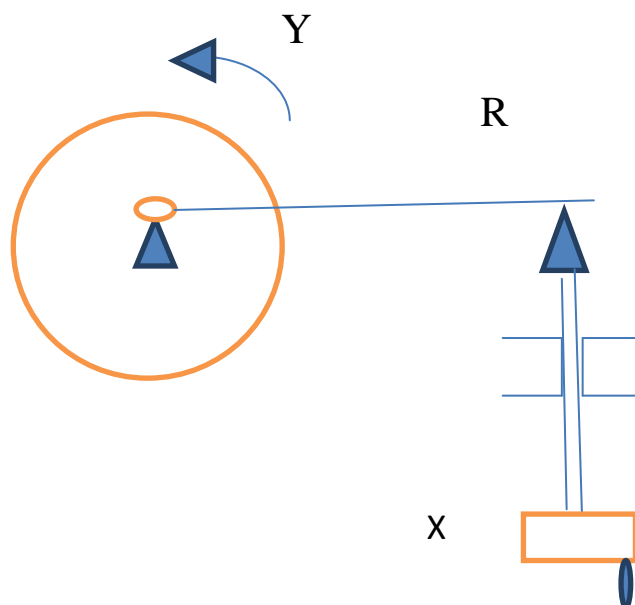
### Типы устройств точного позиционирования

Устройства точного позиционирования подразделяются на типы в зависимости от вида выходного движения исполнительного элемента цепи:

- вращательного движения
- поступательного движения

Рассмотрим схемы некоторых устройств

I

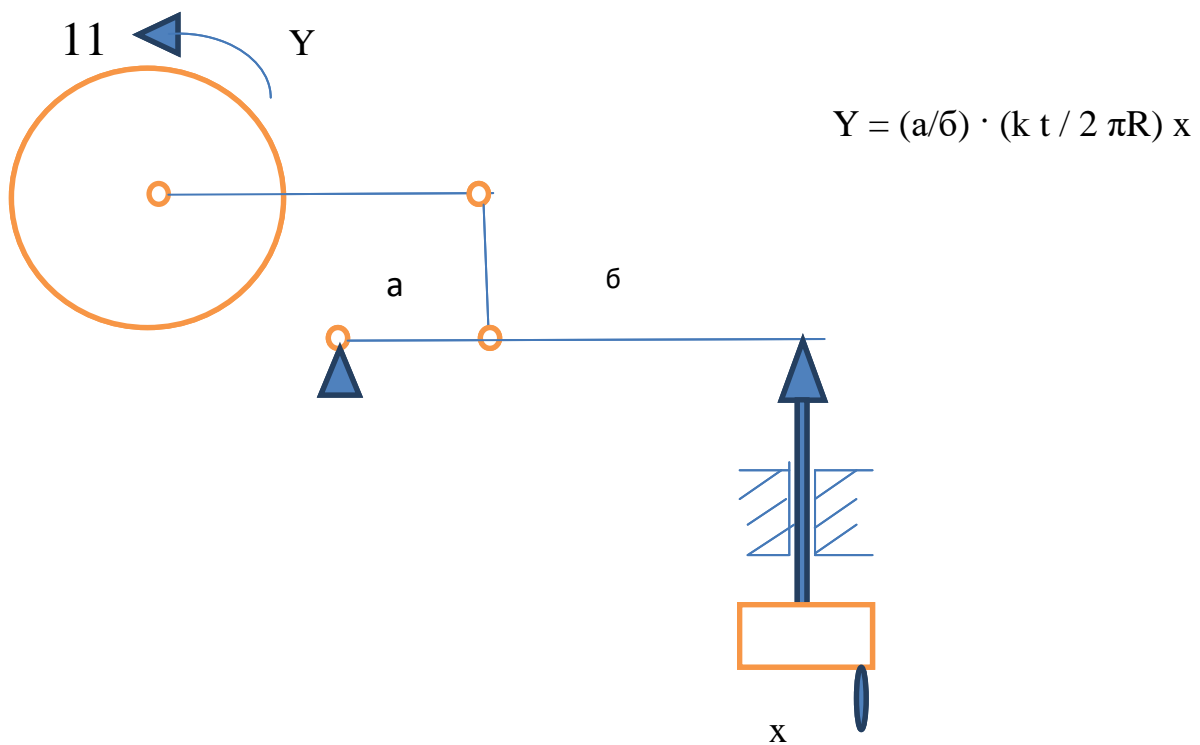


$$Y = (k t / 2\pi R) X$$

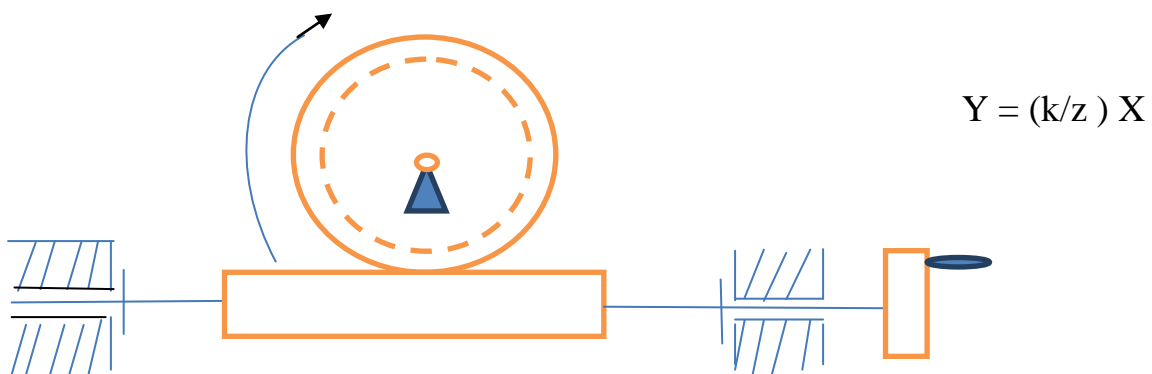
Где  $k$  - число заходов  
резьбы

$t$  - шаг резьбы

Устройство I широко применяется в приборах с вращательным движением исполнительного элемента при малом диапазоне позиционирования.



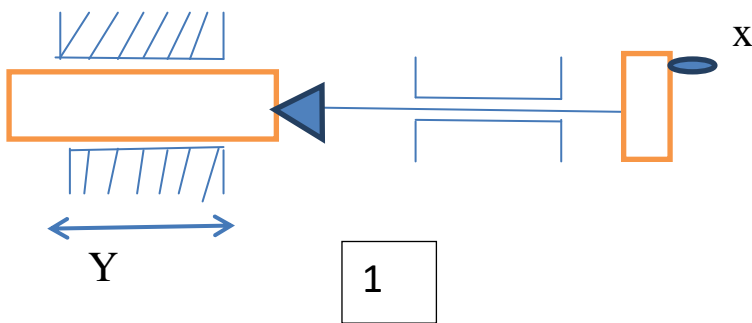
В основном для лабораторных и геодезических приборов.



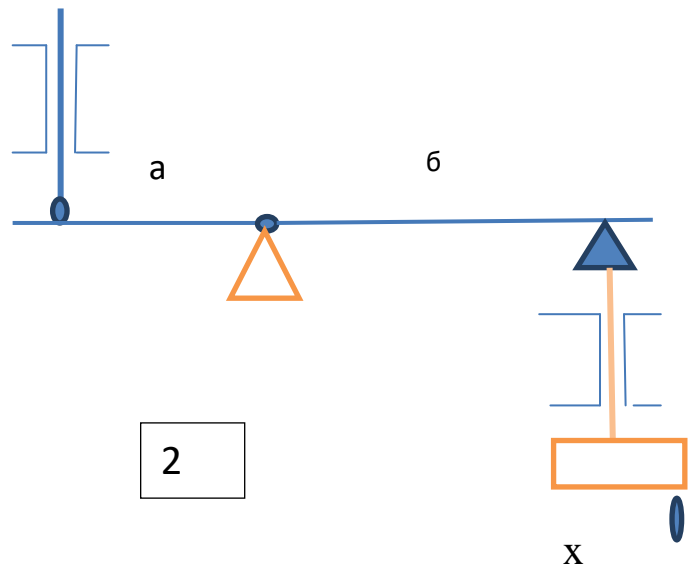
Данный тип применяется в тех случаях, когда необходимо позиционирование в любом угле из  $360^0$ .

Для поступательного движения исполнительного элемента исполнительного элемента используются как простые, так и сложные схемы

$$Y = (kt / 2\pi) x$$



$$Y = (a / b)(kt / 2\pi) x$$



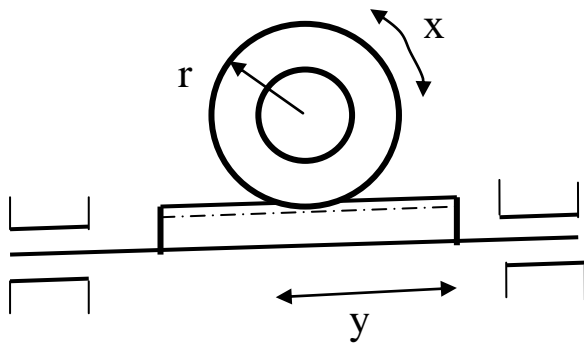
Данные схемы обеспечивают линейное преобразование движения.

Тип 1 достаточно широко используется в координатных столиках оптических приборов. В таких схемах перемещение легко сочетается с реализацией измерительных функций. При реализации измерительных цепей масштаб преобразования обеспечивается значением шага резьбы, как правило 0,5 -1мм.

При необходимости используется дифференциальный винт. В тех случаях, когда шага резьбы недостаточно, используют схему рычагов, т.к. благодаря отношению  $(a / b)$  можно дополнительно расширить возможности схемы

Двуплечный рычаг по схеме 2 удобен для компоновки, т.к. его можно применить при разных расположениях винта и рычага.

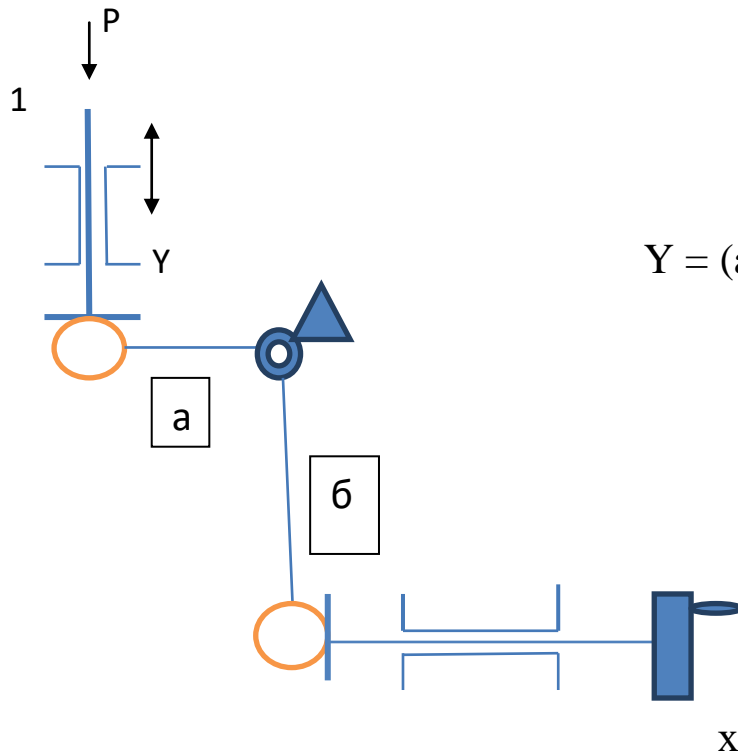
Для начального грубого позиционирования используют следующую схему



$$Y = r x$$

Эта схема широко используется для грубой фокусировки в микроскопах. Ее достоинство заключается в возможности перемещения рабочего элемента в значительном диапазоне выходной координаты  $y$  (размер зубчатой рейки).

Для точной настройки микроскопов различных фирм используются схемы, в которых кинематические цепи замыкаются силой  $P$  для устранения зазоров.



$$Y = (a / b)(kt / 2\pi ) x$$

В устройствах точного позиционирования интервал изменения выходной координаты  $Y$  как правило мал, и, соответственно, не требуется значительного изменения входной координаты и изменения положений структурных элементов.

