**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Методические указания
к выполнению практических занятий по дисциплине
"Автоматизация производственных процессов в машиностроении"
для студентов направления

(15.03.05) «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2024

1. КОНТРОЛЬНО-СОРТИРОВОЧНЫЕ АВТОМАТЫ

Контрольно-сортировочные автоматы (КСА) предназначены для разбраковки деталей по некоторым параметрам на годные и бракованные, а также сортировки годных деталей на размерные группы. КСА наиболее целесообразно применять в отраслях с массовым и крупномасштабным производством. Современная конструкция автомата должна обеспечивать высокую производительность, оптимальную точность, предотвращение повреждения и заклинивания деталей при их перемещении, удобство размещения измерительной станции, бункера и сортировочных отсеков, легкость доступа к регулировкам, высокую стойкость измерительных поверхностей, простоту обслуживания.

Все КСА включают полностью или частично следующие устройства: **измерительные, загрузочные, транспортирующие и сортировочные**.

Основа КСА - измерительное устройство, которое определяет принадлежность данной детали к той или иной группе в соответствии с заданными условиями контроля и дает команду сортировочным устройствам на отправление детали в ту или иную группу.

Загрузочные устройства осуществляют ориентацию изделий в пространстве и выдачу их на транспортирующие механизмы, перемещающие детали внутри автомата. Процесс транспортирования охватывает операции по ориентации изделий в пространстве, подачу их на измерительную позицию и съем с нее, а также направляет детали в соответствующий канал после сортировки.

1. Классификация контрольно-сортировочных автоматов

Классификация КСА может быть произведена по следующим признакам:

1) по степени универсальности: *непереналаживаемые,* то есть контролирующие детали только одного вида; и *переналаживаемые,* служащие для контроля деталей нескольких типоразмеров;

2) характеру контроля: с *прерывистым движением* изделия; с *непрерывным движением* изделия, где процесс измерения происходит во время транспортирования детали;

3) назначению: для контроля *размеров* детали; для контроля *массы;* для контроля *механических свойств* и т.п;

4) принципу действия: *электрические, электромеханические, механические* и др;

5) количеству измеряемых параметров: *однопозиционные* и *многопозиционные.*

2. Автоматы без преобразования измерительного импульса

В таких автоматах для деталей простой формы, как правило, используются для контроля следующие калибры: 1) жесткие нераздвижные; 2) жесткие регулируемые; 3) клиновые; 4) откидные и др.

На рис. 1 показана схема измерительного устройства для контроля размера отверстия жесткими калибрами - пробкой с проходным и непроходным диаметром, совершающей возвратно-поступательное движение, а также схема измерительной позиции для контроля наружных диаметров *D*, оснащенная жесткими двухпредельными скобами, совершающими возвратно-поступательное движение от эксцентрикового механизма.

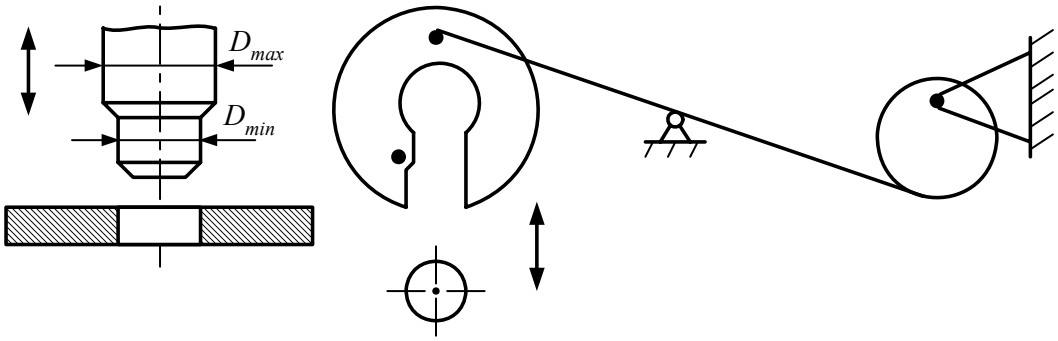

Рис. 1. Схемы измерительных устройств автоматов для контроля отверстий и валов жесткими калибрами

2.1. Измерительная позиция автомата с регулируемыми жесткими калибрами (рис. 2)

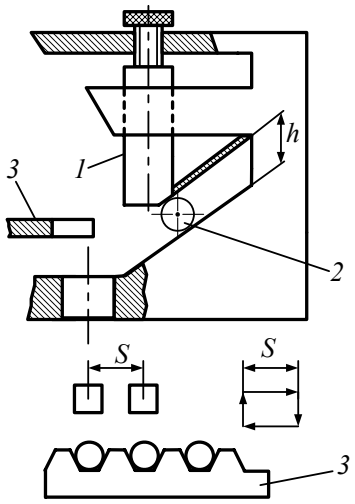

Рис. 2. Измерительная позиция автомата для сортировки шариков по диаметру: *S* - шаг

Сортировка осуществляется при помощи последовательно расположенных жестких калибров, которые образованы измерительными плоскостями регулируемых шпинделей 1 и опорной поверхности 2. Перемещение шариков, поступающих из бункера, производится гребенкой 3, совершающей возвратно-поступательные движения. Размер *h* калибров в направлении перемещения шариков увеличивается в соответствии со ступенями сортировки. Шарики при помощи гребенки подаются последовательно от калибра к калибру до тех пор, пока размер шарика не окажется меньше размера калибра. Шарик пройдет в калибр и скатится затем в соответствующий приемник калибра.

2.2. Измерительные позиции автоматов с клиновыми калибрами

Клиновые калибры с успехом применяют для сортировки шариков по размерным группам. Шарики, выходя из загрузочного устройства, катятся по наклонным расходящимся линейкам и проваливаются в сортировочные ящики в зависимости от своих размеров. Недостаток такой системы склонность шариков заклиниваться между линейками, что вынуждает увеличивать угол между ними и тем самым уменьшать точность контроля. Однако подобный способ все же обеспечивает точность контроля в пределах 1 мкм. При конструировании клинового калибра (рис. 3) необходимо выбрать длину отсека l_0, рабочую длину линеек L, угол между линейками 2α и угол наклона линеек в вертикальной плоскости β. Длину отсека l_0 определяют из соотношения $l_0 - D + 5$ мм, где D – диаметр шарика.

Общая длина линеек составит $L = \dfrac{n\,(D+5)}{\cos\beta\cos\alpha}$, где n – число групп рассортировки.

Если допуск на изготовление шариков - δ, а величина группового допуска - a, то величину угла α можно подсчитать по формуле

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{a}{2L\cos\beta}, \text{ где } L = \frac{(D+5)\delta}{\alpha\cos\beta\cos\alpha}.$$

Угол α обычно выбирают из соотношения $2\alpha < 2°$.

Дальнейшее увеличение угла α сокращает длину линеек, но при этом значительно возрастают динамические погрешности рассортировки. Угол наклона линеек β в вертикальной плоскости должен выбираться так, чтобы шарик катился без проскальзывания. Опыт показывает, что величина этого угла обычно не превышает 20°.

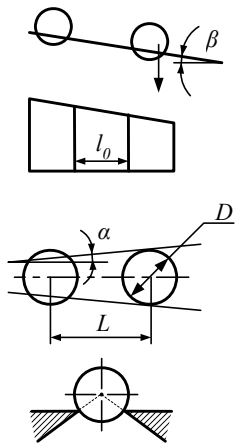

Рис. 3. Измерительное устройство с клиновыми калибрами для сортировки шариков

Клиновые автоматы для сортировки конических роликов с принудительным перемещением изделий показаны на рис. 4.

Ролик из загрузочного бункера через отводной лоток 1 попадает в призматические канавки транспортирующего диска 2. Транспортирующий диск, протаскивая ролик между измерительными дисками 3 и 4, заклинивает ролики между двумя коническими плоскостями.

Заклиненные ролики, перемещаясь вместе с диском по направлению стрелки, встречают на своем пути съемники. Ролики, снимаемые первым съемником, попадают в лоток, завышенные по длине; между первым и вторым съемником попадают в лоток ролики, годные по длине; между вторым и третьим съемниками попадают ролики, заниженные по длине.

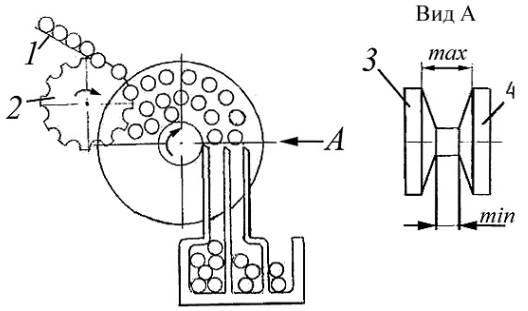

Рис. 4. Измерительное устройство с клиновым калибром для сортировки роликов

Автомат прост по конструкции, но требует точного изготовления и установки измерительных дисков на минимальный и максимальный размеры ролика.

2.3. Измерительная позиция автомата с откидными калибрами (рис. 5)

Измерительных позиций может быть несколько. Разница - в настройке, то есть в допуске на одну группу.

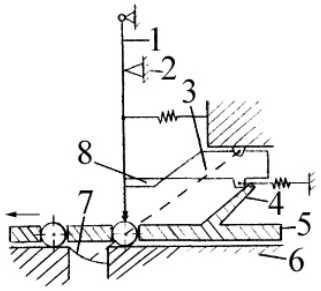

Рис. 5. Измерительное устройство с откидными калибрами: 1 - калибр; 2 - ограничитель; 3 - механическая связь; 4 - упор для взвода механизма; 5 - диск, выполняющий роль транспортирующего устройства; 6 - стол; 7 - заслонка; 8 - зуб

Измеряемая деталь под действием транспортирующего диска перемещается под измерительную позицию, калибр которой настроен на предельный размер группы. Если размер детали больше калибрующего зазора между торцом калибра и столом, то калибр будет перемещаться по ходу движения детали и в момент, когда зуб 8 освободит поворотное устройство, которое повернет заслонку и заставит эту деталь пройти через канал, ведущий в соответствующую емкость. Погрешность устройства порядка 1 мкм, производительность до 4 тыс. шт./ч.

3. Загрузочные устройства КСА

3.1. Классификация загрузочных устройств и требования, предъявляемые к ним

Загрузочные устройства (ЗУ) служат для создания запаса контролируемых деталей и их ориентации в пространстве и времени с тем, чтобы обеспечить нормальную и бесперебойную работу измерительного устройства в течение запланированного периода. Структурная схема ЗУ представлена на рис. 4.6.

Контролируемые детали в достаточном для бесперебойной работы автомата количестве помещают в бункер (обычно в беспорядке, навалом), который производит их первичную ориентацию и выдает в определенной последовательности.

В зависимости от конфигурации контролируемых деталей может потребоваться их дополнительная пространственная ориентация, что осуществляется ориентирующим устройством, которое может быть и частью бункера. Ориентированные в пространстве детали по лотку попадают в магазин-накопитель, откуда через определенные промежутки времени выдаются механизмом поштучной выдачи (питателем) на транспортирующее устройство автомата или непосредственно на его измерительную позицию.

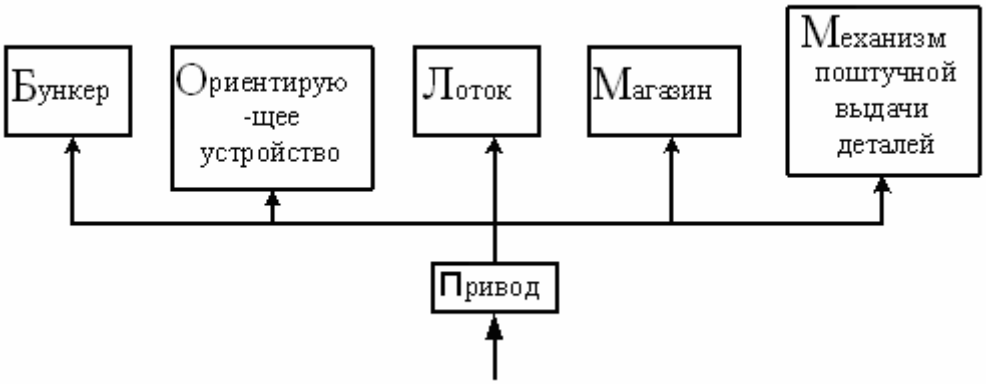

Рис. 6. Структурная схема ЗУ КСА

Таким образом, питатель является устройством, ориентирующим детали во времени. Необходимые перемещения подвижных элементов загрузочного устройства осуществляются приводом. Однако названные элементы ЗУ не всегда можно выделить в «чистом» виде при рассмотрении конкретного автомата. Некоторые элементы могут отсутствовать, либо один конструктивный элемент может выполнять несколько функций. Так, часто

лоток выполняет одновременно и функции магазина. Необходимость магазина в составе загрузочного устройства объясняется тем, что производительность бункера из-за его конструктивных особенностей колеблется во времени, и для компенсации этого колебания приходится накапливать запас ориентированных деталей в магазине. Наиболее характерными элементами ЗУ являются бункер (или магазин) и питатель.

Все ЗУ можно разбить на два вида: автоматические и полуавтоматические.

Автоматические ЗУ обеспечивают автоматическую ориентацию деталей как в пространстве, так и во времени. Характерная их особенность - наличие бункера. В бункерах ЗУ запас деталей в емкости размещается беспорядочно (навалом) (рис. 7). Эти ЗУ имеют сбрасыватель 1, захват 2 и лоток 3. Правильно ориентированные детали пропускаются в лоток, а неправильно ориентированные - сбрасываются в бункер.

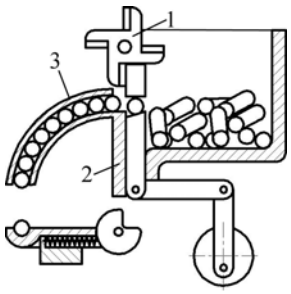

Рис. 7. Схема бункерного загрузочного устройства

Полуавтоматические ЗУ ориентируют детали только во времени. Ориентация деталей в пространстве осуществляется вручную. Характерный элемент полуавтоматических ЗУ - магазин, который последовательно загружается контролируемыми деталями в ориентированном положении вручную. В связи с необходимостью предварительной ручной ориентации деталей при загрузке их в магазин возрастает трудоемкость обслуживания КСА. Однако конструкция последнего существенно упрощается за счет исключения бункера и ориентирующего устройства (рис. 8).

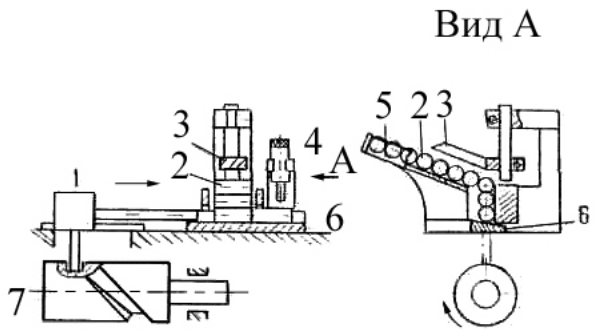

Рис. 8. Магазинное загрузочное устройство для контроля и сортировки цилиндрических роликов по диаметру

Магазин выполнен в виде наклонного лотка 5, куда вручную загружают ролики 2. Под действием собственного веса ролики скатываются на базирующую призму 6. Направляющая планка 3 служит для предотвращения заклинивания роликов. С помощью толкателя 1, приводимого в движение кулачком 7, ролик подается на измерительную позицию с датчиком 4.

Бункерные и магазинные ЗУ в зависимости от способа перемещения деталей разделяются на самотечные, полусамотечные, принудительные и комбинированные. В *самотечном* ЗУ движение детали происходит под действием силы тяжести перемещаемых деталей; в *полусамотечном* ЗУ - под действием силы тяжести деталей при искусственном уменьшении силы трения между плоскостью детали и поверхностью ЗУ; в *принудительных* - принудительно под действием приводных механизмов; в *комбинированных* - непрерывно или периодически под действием приводных устройств.

Загрузочные устройства в зависимости от их транспортных (несущих, захватных) устройств разделяются таким образом: 1) возвратно-поступательные; 2) поступательные; 3) возвратно-качательные; 4) вращательные; 5) вибрационные.

Принципиальные схемы некоторых загрузочных устройств (рис. 9, 10):

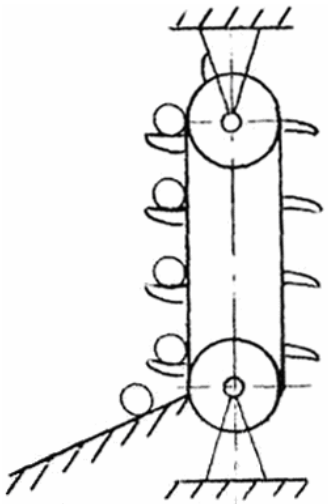

Рис. 9. Загрузочное устройство с поступательным движением самотеком (детали движутся под действием собственной массы)

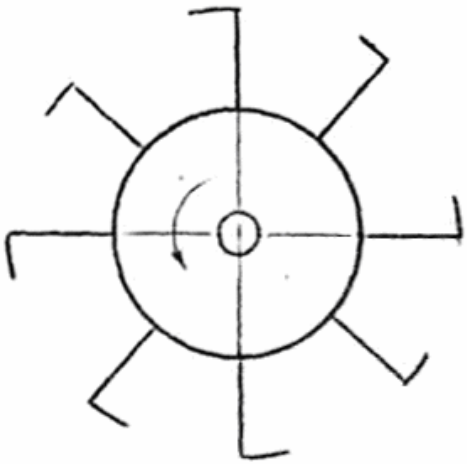

Рис. 10. Крючковые захваты с вращательным движением

3.2. Выбор загрузочного устройства и его расчет

Для выбора и проектирования ЗУ из общего комплекса технико-экономических показателей используют следующие: Q_a - производительность КСА; $t_Р$ - требуемая длительность работы КСА с одной загрузки деталями без вмешательства обслуживающего оператора или контролера.

Это время устанавливается исходя из норм обслуживания автомата и из допустимости постоянной занятости при автомате обслуживающего оператора; $C_З$ - ориентировочная допустимая стоимость ЗУ.

Требуемая средняя производительность ЗУ определяется из производительности КСА:

$$Q_З = (1{,}15 - 1{,}25)Q_a .$$

Эта производительность берется на 15-20 % выше, чем требуемая производительность автомата для обеспечения бесперебойной работы последнего с заданной производительностью.

Емкость ЗУ определяют исходя из требуемой длительности работы с одной загрузки и производительности автомата:

$$W_З = Q_a t_р + W_{min},$$

где W_{min} - наименьшее необходимое для нормальной работы число деталей в ЗУ. Ориентировочно $W_{min} = (0{,}15 - 30)W_З$.

На основе полученных величин производительности и емкости ЗУ, а также руководствуясь данными чертежа детали, выбирают тип ЗУ (прежде всего автоматического (бункерного) или полуавтоматического (магазинного) ЗУ). Обычно бункерные загрузочные устройства применяют для деталей массой не более 300 г и при производительности контроля 1500 шт./ч. Для более массивных деталей или при меньшей производительности контроля применяют магазинные ЗУ.

Выбор конкретной конструктивной схемы ЗУ необходимо обосновать проверочным расчетом его достижимой производительности и сравнением ее расчетной величины с требуемой.

Для бункерных ЗУ с поштучной выдачей деталей производительность загрузки

$$Q_З = zn\eta = v\eta/m,$$

где z - число захватных органов; n - частота вращения или число двойных ходов захватного органа в минуту; η - коэффициент вероятности захвата детали захватным органом; v - скорость движения захватного органа; m - шаг захватных органов.

Если ЗУ выдает детали порциями по несколько штук, то его производительность

$$Q_З = zn\omega\eta,$$

где ω - число одновременно захватываемых деталей. Для устройств с непрерывной выдачей деталей

$$Q_З = v\eta/l_д,$$

где $l_д$ - длина загружаемой детали в направлении ее движения.

Производительность магазинных ЗУ определяют исходя из времени, необходимого для перемещения детали из ее исходного положения в магазине в питатель:

$$Q_3 = 1/t_3,$$

где t_3 - время загрузки детали.

В магазинах с перемещением детали под действием собственной массы время загрузки определяют по времени падения или скатывания детали.

Если деталь перемещается вертикально (падает), то

$$t_3 = k\sqrt{2H/g},$$

где H - высота падения детали при загрузке; g - ускорение свободного падения; $k = 2 – 4$.

При движении детали по наклонной плоскости, например в лотковом магазине,

$$t_3 = k\sqrt{2H/(a_д \sin\alpha)},$$

где α - угол падения плоскости к горизонту; $a_д$ - ускорение движения детали.

Если деталь катится без проскальзывания, то

$$a_д = \frac{g \sin\alpha}{\lambda},$$

где λ - коэффициент, учитывающий кинетическую энергию вращения детали: λ = 1,4 - для шара; λ = 1,5 - для сплошного цилиндра; λ = 2,0 - для тонкостенного цилиндра.

Если деталь скользит по наклонной плоскости, то

$$a_д = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha),$$

где μ - коэффициент трения изделия по наклонной плоскости.

Если перемещение деталей в магазине осуществляется с постоянной скоростью (ленточные и валковые магазины), то

$$t_3 = S_д/v_3,$$

где $S_д$ - путь, проходимый деталью при загрузке; v_3 – скорость перемещения детали при загрузке, $v_3 \leq 10$ - 50 см/с. Первое значение - для точных КСА, второе - для грубых.

4. Исполнительные устройства КСА

Исполнительные устройства предназначены для отделения брака от годных деталей и сортировки годных деталей по отдельным группам в соответствии с их результатами контроля на измерительных позициях автомата.

Источником движения исполнительных устройств чаще всего являются электромагниты или соленоиды, использующиеся для поворота на надлежащий угол механических элементов (желобов, заслонок или флажков) для рассортировки контролируемых деталей по соответствующим приемникам.

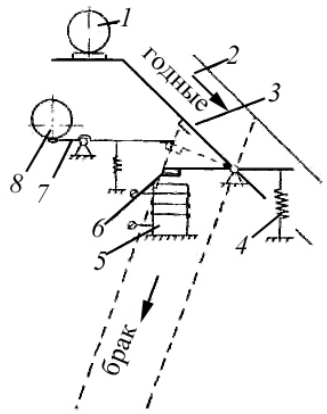

Рис. 11. Исполнительное устройство автомата с отпадающим якорем

В зависимости от размеров, массы контролируемых деталей и вида транспортного устройства исполнительные устройства имеют различные конфигурации.

Измеренная деталь 1 (рис. 11) поступает в наклонный лоток 2. Если деталь годная, то электромагнит 5 находится под током и якорь 6 притянут. Деталь направляется в приемник годной продукции. При поступлении бракованной детали цепь питания электромагнита разрывается, якорь опускается и заслонка 3 пружиной 4 поднимается вверх, направляя деталь в приемник брака. Возврат якоря и заслонки в исходное положение после прохождения детали производится с помощью рычага 7 и кулачка 8. Последний за каждый цикл автомата совершает один оборот.

4.1. Схема исполнительного устройства с толкателем

Такое исполнительное устройство (рис. 12) устанавливается непосредственно на измерительную позицию.

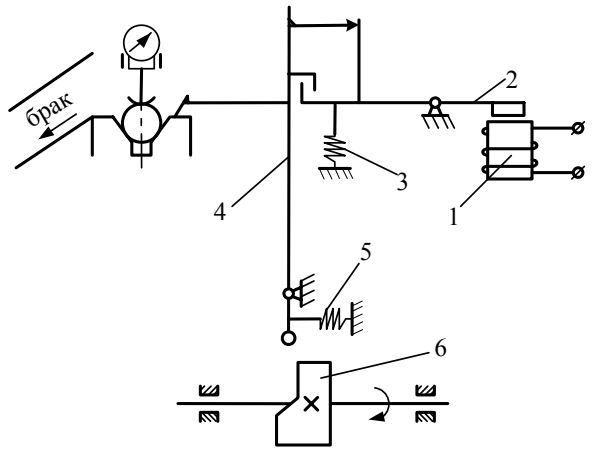

Рис. 12. Исполнительное устройство автомата с толкателем

Бракованная деталь сразу с позиции измерения сталкивается в бункер. При поступлении на измерительную позицию бракованной детали измерительный прибор (ЭКД) разрывает цепь питания электромагнита 1. Якорь 2 под действием пружины 3 поднимается, освобождая рычаг 4, который под действием пружины 5 сталкивает деталь в бункер брака. Для возврата рычага 4 в исходное положение служит кулачок 6, который совершает за цикл работы автомата один оборот.

4.2. Схема исполнительного устройства с применением систем заслонок

Система заслонок может применяться как для громоздких, так и для легких и малогабаритных деталей (рис. 13). С каждой из заслонок связан определенный электромагнит (на рис. не показан). При срабатывании электромагнита соответствующая заслонка, например $З_4$, поворачивается и направляет проконтролированную деталь 1 в надлежащий лоток $Л_4$. В обесточенном состоянии электромагнитов все заслонки оттягиваются своими пружинами, открывая доступ детали в лоток $Л_3$.

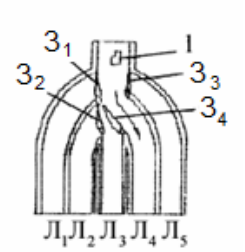

Рис. 13. Исполнительное устройство автомата с системой заслонок

4.3. Схема исполнительного устройства автомата с компенсационной измерительной системой

Для сортировки на большое количество групп применяют компенсационные измерительные системы, позволяющие принципиально упростить процесс сортировки (рис. 14).

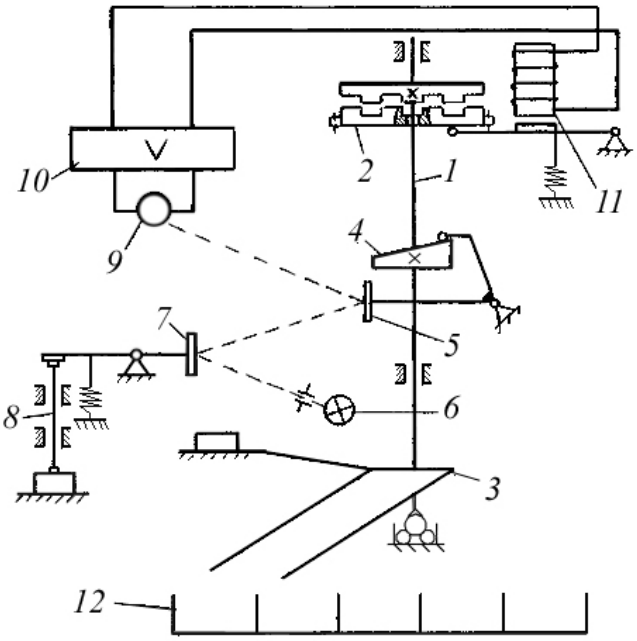

Рис. 14. Принципиальная схема компенсационной измерительной системы автомата для сортировки деталей на большое количество групп

Вращение валу 1 передается от электропривода через муфту 2. На валу 1 жестко закреплены приемный лоток 3 и кулачок 4. Последний через систему рычагов поворачивает зеркало 5 до тех пор, пока поток излучения от осветителя 6, отраженный от зеркала 7 измерительного устройства 8, не засветит фотоэлемент 9. Сигнал от фотоэлемента через усилитель 10 подается в цепь питания электромагнита 11. Электромагнит обесточивается и выводит из зацепления муфту 2, тем самым останавливая приемный лоток 3 против соответствующего бункера 12.

5. Циклограммы работы КСА

Графическое изображение последовательности работы устройств контрольно-сортировочных автоматов во времени носит название его *циклограммы.* Цикл работы автомата включает как время самого измерения, так и время вспомогательных операций.

Процесс контроля детали на КСА складывается из ряда операций, выполняемых соответствующими устройствами и механизмами: загрузки детали на транспортирующее устройство, перемещения детали на измерительную позицию, установки детали на измерительную позицию, измерения детали исполнительного устройства, съема детали с измерительной позиции, выброса детали из транспортирующего устройства (или выпадения детали в бункер) и т.д.

Длительность цикла работы КСА в соответствии с перечисленными операциями будет равна:

$$T_ц = t_з + t_д + t_у + t_к + t_с + t_в + t_о,$$

где $t_З$ - время загрузки детали на транспортирующее устройство; $t_д$ - время перемещения (движения) детали на измерительную позицию; $t_у$ - время установки детали на измерительную позицию; $t_к$ - время контроля детали измерительным устройством; $t_с$ - время съема детали с измерительной позиции; $t_в$ - время выпадения детали в бункер; t_0 - время ожидания до начала нового цикла.

Производительность автомата определяется по формуле

$$Q = \frac{60N}{T_ц},$$

где N - число одновременно контролируемых деталей; $T_ц$ - длительность цикла работы автомата в секундах.

При расчете производительности автомата в процессе проектирования необходимо построить циклограмму его работы и расчетным путем или по аналогам найти составляющие времени $T_ц$ (рис. 4.15).

Для КСА время контроля - время рабочей операции, остальные составляющие цикла характеризуют вспомогательные операции. Соотношение между временем контрольной операции и вспомогательными операциями характеризует производительность автомата. Анализ этого соотношения показывает пути повышения производительности.

Отношение суммы времени вспомогательных операций, не совмещенных с контрольной операцией, к времени контроля называется *коэффициентом производительности* вспомогательных устройств автомата $\eta_п$.

Оно определяет, во сколько раз время вспомогательных операций больше времени контроля в цикле. Время совмещенных вспомогательных операций характеризуется коэффициентом η_c - это отношение времени вспомогательных операций, совмещенных с контрольной операцией, к времени контроля.

Повысить производительность работы КСА можно за счет интенсификации отдельных операций и путем их совмещения. Поскольку интенсификация вспомогательных операций приводит к снижению надежности работы автомата, более эффективно совмещение операций. Наибольший эффект возможен тогда, когда непрерывно будет осуществляться контрольная операция и производительность автомата будет зависеть только от времени контроля.

№ п/п	Элемент	Время						
1	Загрузочное устройство							
2	Транспортирующий механизм							
3	Устанавливающий механизм							
4	Измерительное устройство							
5	Исполнительное устройство							
	Наименование операций	загрузка	перемещение	установка	контроль	съем	выпадение	ожидание
	Составляющие $T_ц$	$t_з$	$t_д$	$t_у$	t_k	t_c	$t_в$	$t_о$

Рис. 15. Циклограмма работы контрольно-сортировочного автомата

6. Контрольные вопросы

1. Что собой представляют жесткие калибры в КСА?
2. Из каких элементов состоит ЗУ?
3. По каким основным критериям проводят выбор между бункерными и магазинными ЗУ?
4. Каково назначение исполнительного устройства в контрольном автомате?
5. Что такое циклограмма и для каких целей ее строят?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Активный контроль размеров / под ред. С. С. Волосова. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.

2. Активный контроль в машиностроении : справочник / под ред. Е. И. Педя. – М. : Машиностроение, 1978. – 352 с.

3. *Вальков, В. М.* Контроль в ГАП / В. М. Вальков – Л. : Машиностроение., 1986. – 232 с.

4. *Волосов, С. С.* Приборы для автоматического контроля в машиностроении / С. С. Волосов, Е. И. Педь. – М. : Машиностроение, 1970. – 310 с.

5. *Волосов, С.С.* Управление качеством продукции средствами активного контроля / С. С. Волосов, З. Ш. Гейлер. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 197 с.

6. *Высоцкий, А. В.* Активный контроль в металлообработке / А. В. Высоцкий, М. П. Соболев, М. И. Этингоф. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 175 с.

7. *Иванов, А. А.* Гибкие производственные системы в приборостроении / А. А. Иванов. – М. : Машиностроение, 1988. – 304 с.

8. *Камхин, Я. Б.* Контрольные автоматы для автоматических линий / Я. Б. Камхин, Е. М. Голоульников, И. Н. Хаскин. – М. : Машиностроение, 1980. – 247 с.

9. *Кондашевский, В. В.* Активный контроль размеров деталей на металлорежущих станках / В. В. Кондашевский, В. Лотце. – Омск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1976. – 432 с.

10. *Куратцев, Л. Е.* Пневматические приборы активного контроля в машиностроении / Л. Е. Куратцев, И. М. Цырульников. – М. : НИИМАШ, 1973. – 62 с.

11. *Либерман, Я. Л.* Контрольно-сортировочные автоматы / Я. Л. Либерман, В. В. Кувшинский. – М. : Машиностроение, 1983. – 75 с.

12. Приборы автоматического управления обработкой на металлорежущих станках / А.В. Высоцкий [и др.]. – М. : Машиностроение, 1995. – 328 с.

13. Теория и проектирование контрольных автоматов : учеб. пособие для вузов / Л. Н. Воронцов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1980. – 560 с.

14. *Чудов, В. А.* Размерный контроль в машиностроении / В. А. Чудов, Ф. В. Цидулько, Н. И. Фридгейм. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.

15. *Этингоф, М. И.* Приборы для измерения в процессе обработки / М. И. Этингоф. – М. : Машиностроение, 1982. – 50 с.

16. Контрольно - измерительные приборы и инструменты / С. А. Зайцев, А. Н. Толстов, Д. В. Меркулов. – М. : Академия, 2005. – 463с.