

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

В.А. Бондаренко, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

г. Ростов-на-Дону

2017

Автоматизированные системы проектирования/ В.А. Бондаренко, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин. – Ростов-на-Дону: Издательский центр РГУПС, 2017. - 55 с.

Автоматизированные системы проектирования: методические указания по выполнению практических работ для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.03 «Прикладная механика»/ В.А. Бондаренко, А.Е. Литвинов, А.Н. Чукарин. – Ростов-на-Дону, 2017. – 55 с.

Ростовский государственный университет  
путей сообщения, 2017

## **Практическая работа № 1**

### **«Проектирование и реализация размерных связей процесса изготовления деталей в автоматическом производстве»**

#### **1 Правила техники безопасности**

К обслуживанию работы допускаются лица, прошедшие инструктаж и проверку знаний правил техники безопасности, которые заключаются в следующем:

- запрещается находиться в зоне движений робота во время его работы ;
- ремонт, смазка, чистка, наладка робота во время работы запрещаются;
- реле давления в блоке подготовки воздуха должно быть отрегулировано на давление 0,4 МПа;
- запрещается работа на неисправном оборудовании.

#### **2 Цель работы**

Освоение методов размерного анализа при изготовлении деталей в автоматическом производстве.

#### **3 Перечень материалов, инструментов, оборудования**

- 3.1 Промышленный робот ПР 4 – 2
- 3.2 Штангенциркуль
- 3.3 Набор заготовок

#### **4 Методика проведения работы**

##### **4.1 Размерные связи процесса изготовления деталей**

Изготовление деталей машин прежде всего должно обеспечивать их требуемое качество, количество и сроки изготовления при минимальных затратах. Качество деталей машин описывается двумя группами параметров: параметрами свойств материалов ( прочность, твердость и т. д.); размерными параметрами (размеры деталей, отклонения формы, параметры шероховатости ).

Взаимосвязь размеров и свойств реализуется при проектировании машины, как правило, расчетом номинальных размеров исходя из выбранных свойств. Допуски размеров определяются из размерного анализа конструкции с учетом выбранного МТД замыкающего звена, возможностей достижения точности размеров при сборке, а также с учетом достижимой точности получения размеров деталей при изготовлении с минимальными затратами.

При автоматическом процессе изготовления деталей существуют различные размерные связи, которые можно подразделить на три группы: установочные, операционные, межоперационные.

Установочные размерные связи действуют в процессе автоматической установки заготовок в приспособления и т. д.

Установочные размерные связи, как правило, не влияют на достижение качественных показателей изделия, но определяют возможность автоматического транспортирования заготовок, загрузки и выгрузки станков.

Исходными или замыкающими звеньями установочных размерных связей являются допустимые отклонения расположения технологических баз заготовки и исполнительных поверхностей приспособления при которых возможно осуществить автоматическую установку заготовки.

Составляющими звеньями установочных размерных связей являются размеры заготовки, приспособления, которые выявляются при построении размерных цепей по общей методике размерного анализа конструкции.

Установочные размерные связи аналогичны сборочным размерным связям и рассчитываются точно так же.

Операционные размерные связи возникают в процессе получения каждого размера детали при изготовлении ее с помощью какой – либо технологической системы. Замыкающим или исходным звеном является получаемый размер детали – операционный размер. В зависимости от вида размерной связи составляющими звеньями могут быть различные размеры технологической системы: размеры инструмента станка, приспособления, установочные размеры заготовки, инструмента, приспособления.

*Установочным размером* заготовки, как известно, называют размер (расстояние или поворот), характеризующий положение основных баз инструмента, приспособления относительно исполнительных поверхностей станка.

От операционных размерных связей зависят операционные размеры, получаемые детали, настроечные размеры станка, режущего инструмента и приспособления, которые необходимо обеспечить при технологической подготовке производства. Настроечные размеры обеспечивают выбором соответствующих средств и заданием определенных параметров их настройки. Операционные размерные связи описывают и обеспечивают получение требуемых операционных размеров детали на каждой рабочей позиции автоматической обрабатывающей системы.

Межоперационные размерные связи объединяют в единое целое весь технологический процесс изготовления детали, связывая различные операционные размеры деталей, с размерами заготовки припусками на обработку. Межоперационные размерные связи описывают все этапы преобразования размеров от заготовки до детали.

Замыкающими звеньями межоперационных размерных цепей являются припуски на обработку и те размеры детали, которые непосредственно не получаются как операционные размеры ни на одной из операций технологического процесса. Составляющими звеньями межоперационных размерных цепей являются операционные размеры детали, получаемые на операциях технологического процесса, и размеры заготовки.

Операционные и межоперационные размерные связи называют *технологическими размерными связями*.

#### **4.2 Анализ установочных размерных связей при изготовлении деталей**

Установочные размерные связи необходимо всегда рассчитывать при автоматической установке заготовок или изделий на станки в приспособления на спутник, в накопитель, ячейку склада и т.д.

Методика выявления и расчёта установочных размерных связей та же, что и при сборке изделий. Установочные размерные связи могут быть отнесены к сборочным. Разница состоит лишь в том, что допуски размеров при установке заготовок или изделий в различные приспособления могут быть, как правило, значительно больше чем при сборке изделий, и поэтому их легче обеспечить, вместе с тем сборка каждого изделия осуществляется обычно один раз, если не требуется разборки и повторной сборки. Установка же одних и тех же заготовок или спутников может осуществляться многократно, что так же необходимо учитывать.

Цель выявления и расчёта размерных связей при автоматической установке изделий, загрузки и выгрузки оборудования следующая:

- 1) обеспечить работоспособность автоматической системы в течение требуемого времени эксплуатации в условиях действия различных факторов влияющих на стабильность составляющих размеров и размерных связей;

- 2) выбрать методы и средства автоматизации, обеспечивающие требуемые размерные связи, сформулировать требования к размерной точности автоматических устройств, реализующих автоматическую установку;

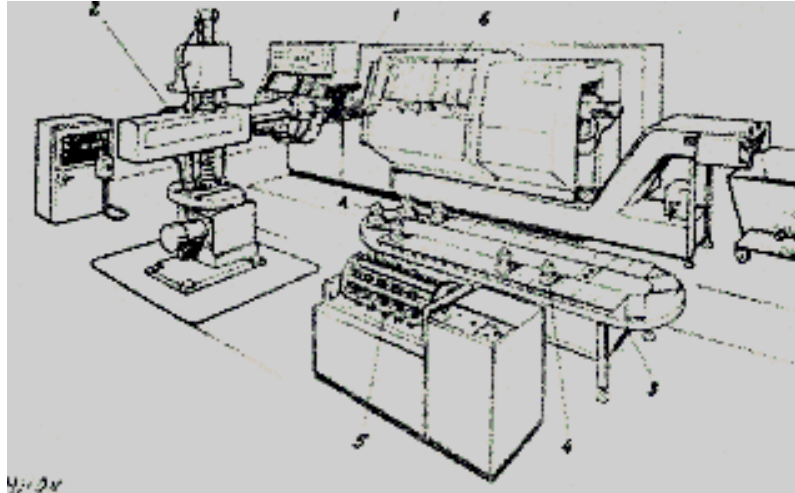


Рисунок 1 – Автоматизированный технологический комплекс

3) выбрать методы и способы размерной наладки системы. Кроме того, опираясь на расчёт размерных связей, можно установить регламент обслуживания и профилактики, сформулировать допустимые ограничения внешних воздействий при работе системы.

Далее рассмотрим анализ и расчёт размерных связей и вытекающие из него технические решения на двух примерах.

Размерные связи при автоматической установке заготовки на станок. На рисунке 1 показан роботизированный технологический комплекс (РТК). Он содержит токарный станок 1, промышленный робот 2, индексирующий стол 3, подающий заготовки 4 в позицию А для захвата их роботом и установки в шпиндель станка 1 после открывания защитного экрана 6. Кроме смены заготовок робот может заменять режущие инструменты в револьверной головке станка из магазина 5.

Рассмотрим размерные связи, возникающие при автоматической установке заготовки короткого вала в само центрирующий патрон токарного станка. Установку заготовки в патрон и съём детали осуществляет робот (рисунок 2, а)

Робот берёт заготовку захватом из ячейки кассеты, вносит заготовку в рабочую зону станка так, чтобы ось заготовки совпадала с осью раскрытых кулачков патрона, и затем задвигает заготовку в патрон после чего подаётся команда на зажим кулачков патрона.

Из рисунка 2, б, видно, что ввод заготовки в раскрытые кулачки патрона возможен, если отклонение  $\Gamma_{\Delta}$  от соосности позиционируемой заготовки относительно оси кулачков патрона не превышает следующего значения:  $\Gamma_{\Delta \max} = 1/2 (D-d)$ , где  $D$  – диаметр раскрытых кулачков патрона;  $d$  – диаметр устанавливаемой в патрон заготовки.

Если в момент установки размер  $\Gamma$  окажется больше этого предельно допустимого значения, то при движении захвата робота вдоль оси шпин-

деля заготовка торцом упрется в патрон (рисунок 2, в) и автоматическая установка заготовки будет невозможна.

Следовательно, обеспечение требуемого значения  $\Gamma_{\Delta}$  является условием возможности автоматической установки заготовки в патрон.

Допустимое значение  $\Gamma_{\Delta}$  рассчитывается исходя из размеров  $\Gamma_{\Delta}$ ,  $D$  и  $d$  по приведённой формуле. Из этой формулы вытекает предельно допустимое отклонение  $\Gamma_{\Delta \max}$  от соосности, которое позволяет роботу ввести заготовку в раскрытый патрон.

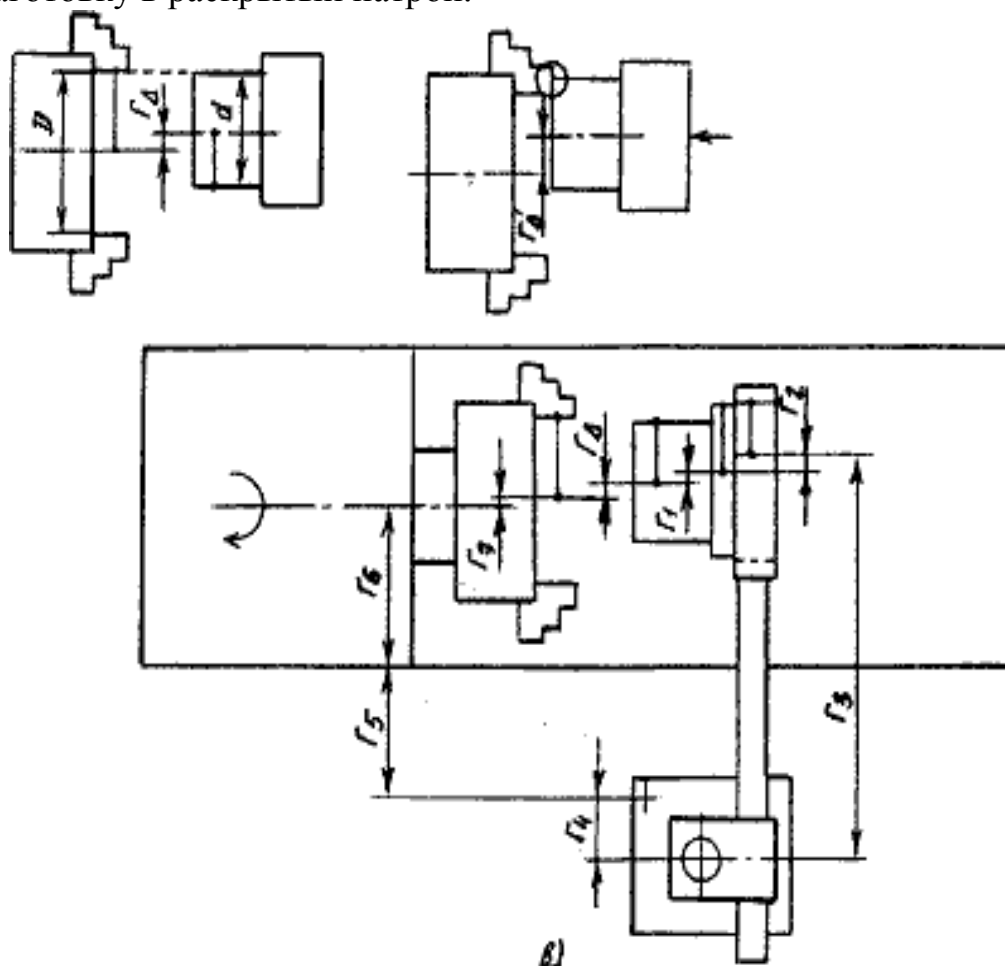


Рисунок 2 -Схема размерных связей при автоматической загрузке станка

Поскольку для большинства патронов с механическим приводом закрепления заготовки диапазон раскрытия кулачков может быть достаточно большим, то, как правило, не возникает трудности в обеспечении раскрытия кулачков по диаметру, например, на 20 мм больше диаметра заготовки, тогда предельно допустимое отклонение от соосности будет равно  $\Gamma_{\Delta \max} = \pm 10$  мм. Значение исходного звена при желании обеспечить соосность в этом случае можно записать в виде  $\Gamma_{\Delta} = 0 \pm 10$  мм. Это означает,

что желательно, чтобы  $\Gamma_{\Delta} = 0$ , но допустимое отклонение  $\pm 10$  мм. Допуск на размер  $\Gamma$  в данном случае  $\Gamma = 20$  мм.

Однако проведённого расчёта для выявления допустимых отклонений от соосности не достаточно. Рассчитанное значение  $\Gamma$  позволяет лишь обеспечить ввод заготовки внутрь кулачков и является необходимым, но недостаточным условием.

Представим себе, как пойдёт закрепление заготовки при рассчитанном отклонении от соосности. Кулачки, сдвигающиеся к оси патрона, при наличии отклонения от соосности будут стремиться переместить заготовку в новое положение. Заготовка же пока ещё закреплена в захватах робота. Следовательно возникнут силы при передаче заготовки от робота в патрон. Сила может быть определена по формуле:

$$P_{\Delta} = j \Gamma \quad (1)$$

где  $j$  – жесткость системы работ – заготовка – патрон.

При жесткости робота  $j = 500$  Н/мм в случае отклонения от соосности  $\Gamma_{\Delta} = \Gamma_{\Delta \text{ max}} = 10$  мм сила, действующая в момент закрепления на робот, заготовку и кулачки патрона, составляет  $P = 5000$  Н. Если бы такую силу могли создать кулачки патрона, что–нибудь обязательно бы сломалось: патрон, робот или заготовка. Поэтому, очевидно вторым не менее важным условием определения предельно допустимого отклонения от соосности является ограничение силы  $P$  до допустимого значения, определяемого конкретными условиями установки: моделью станка, размерами и прочностью заготовки, параметрами робота. Допустим, что в конкретном примере для установки валика диаметром 100 мм и длиной 400 мм необходимо, чтобы  $P \leq 100$  Н, тогда допустимое отклонение от соосности:

$$\Gamma_{\Delta \text{ max}}' = P/j = 100/500 = 0,2 \text{ мм.}$$

В данном случае второе условие значительно жестче первого, так как  $\Gamma_{\Delta \text{ max}}' < \Gamma_{\Delta \text{ max}}$ .

Далее необходимо построить размерную цепь, показанную на рисунок 2,а. Размерная цепь  $\Gamma$  описывается уравнением  $\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 - \Gamma_4 - \Gamma_5 - \Gamma_6 - \Gamma_7$ , где  $\Gamma_7$  – отклонение от соосности технологической базы заготовки, устанавливаемой в патрон, и базы определяющей положение заготовки в захвате робота;  $\Gamma_2$  – отклонение от соосности поверхности заготовки в схвате, вызванное погрешностью установки заготовки в схвате  $\Gamma_{2y}$  и погрешностью центрирования схвата  $\Gamma_{2ц}$ ;  $\Gamma_2 = \Gamma_{2y} + \Gamma_{2ц}$ ,  $\Gamma_3$  – расстояние от оси захвата робота до базы отчёта размеров при автоматическом перемещении захвата робота по программе УЧПУ (запрограммированное значение размера позиционирования захвата);  $\Gamma_4$  – расстояние от базы отсчёта размеров до основной базы робота определяющее его положение относительно станка;  $\Gamma_5$  – расстояние между станком и роботом;  $\Gamma_6$  – расстоя-



ние от оси шпинделя станка до основной базы станка;  $\Gamma_7$  – отклонение от соосности кулачков патрона по отношению к оси шпинделя, вызванное погрешностью центрирования кулачков патрона  $\Gamma_{7ц}$  и погрешностью установки патрона на шпиндель  $\Gamma_{7у}$ ;  $\Gamma_7 = \Gamma_{7у} + \Gamma_{7ц}$ .

Размерная цепь  $\Gamma$  характеризует связь размеров станка, робота и отклонения от соосности. Эта связь может быть отображена математически тремя уравнениями: уравнением размерной цепи в номиналах; уравнением допусков этих размеров, которые соответствуют методу достижения точности; уравнением средних отклонений размеров.

При наладке РТК (см. рисунок 2) размер  $\Gamma_3$  при программировании робота подбирают так, чтобы  $\Gamma_{\Delta}$  было в пределах допустимых значений, т. е. при наладке используется метод регулирования. Однако при автоматической загрузке – выгрузке деталей необходимо применение метода взаимозаменяемости.

При работе РТК действительное значение размера  $\Gamma_{\Delta}$  будет меняться в основном вследствие погрешностей позиционирования робота, тепловых деформаций, погрешностей установки заготовки в захвате. Так, например, погрешность позиционирования загрузочных роботов может составлять  $\leq 0,5$  мм и больше; шпиндель токарного станка, например, 16К20РФ3 при нагреве передней бабки на 20 градусов С. При работе ОТК смещается в вертикальной плоскости на 0,04 мм, а в горизонтальной на 0,02 мм. Какие требования к точности робота нужно в данном случае предъявить? Какой робот следует использовать с точностью позиционирования  $\pm 1$ ;  $\pm 0,1$  или  $\pm 0,01$  мм, если учесть что, с увеличением точности позиционирования увеличивается и стоимость робота? Ответы на эти вопросы можно получить, проведя размерный анализ.

При автоматической работе РТК необходимо обеспечить, чтобы каждую заготовку робот устанавливал в патрон станка без настройки и регулировки, поэтому соосность  $\Gamma_{\Delta}$  нужно обеспечить по методу полной взаимозаменяемости. При полной взаимозаменяемости допуск замыкающего звена должен быть равен сумме полей допусков звеньев составляющих:

$$\Gamma_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7,$$

где  $T_1 - T_7$  – допуски размеров  $\Gamma$  соответствующего номера.

Допуск соосности  $\Gamma_{\Delta} = \pm 0,2$  мм составляет  $\Gamma_{\Delta} = 0,4$  мм.

Рассмотрим допуски составляющих размеров. Допуск соосности  $T$  указан на чертеже заготовки, которую предлагается обрабатывать на РТК. Для необработанной поковки, допуск может превысить допуск исходного звена. Допуск  $T_2$  определяется погрешностью установки заготовки в захвате робота и погрешностью центрирования захвата.

Следовательно, при принятых допусках обеспечить необходимые условия для автоматической установки заготовки нельзя.

Возможно несколько путей решения поставленной задачи. Во-первых, можно сократить допуски размеров составляющих звеньев, для этого, например, применить более точный захват с меньшей погрешностью центрирования; использовать предварительно обработанные заготовки для уменьшения погрешности установки; робот следует располагать не на отдельном основании, а непосредственно на станине станка; нужно ограничить диапазон рабочих температур при эксплуатации РТК и таким образом уменьшить составляющие допусков  $T_2 - T_6$ .

Во-вторых, можно расширить допуск замыкающего звена  $\Gamma\Delta$ . Из формулы (1), из которой было получено значение допуска, следует, что расширение допуска при той же допустимой силе может быть обеспечено снижением жесткости закрепления заготовки в захвате робота. Этот путь наиболее удобен и поэтому захваты роботов делают подпружиненными. Однако чрезмерно уменьшать жесткость тоже вредно, так как при установке изделий различной массы будет большая погрешность позиционирования оси заготовки в захвате по высоте. Выбрав наиболее дешевый робот с точностью позиционирования  $\pm 1$  мм, можно определить ожидаемое поле рассеяния  $w\Delta$  размера  $\Gamma\Delta$  по формуле  $w\Delta = \sum w_i$ , где  $w_i$  – поля рассеяния составляющих звеньев, пусть  $w\Delta = 2,4$  мм. Следовательно, в захвате требуется обеспечить максимальное смещение заготовки  $\Gamma\Delta \max = \pm 1,2$  мм. Для этого жесткость крепления должна быть не больше:  $j \max = P/\Gamma\Delta \max = 100/1,2 = 83,3$  Н/мм.

Примем  $j = 80$  Н/мм. При заданных жесткости и необходимом значении смещения можно сконструировать пружинный упругий подвес захвата робота.

В-третьих, можно использовать робот с автоматической системой управления. При этом могут измениться структура и параметры размерной связи, изменится МДТ замыкающего звена: вместо полной взаимозаменяемости будет использоваться автоматическое регулирование размера. Компенсатором в размерной цепи может быть размер позиционирования захвата робота, который управляется от УЧПУ.

Робот необходимо оснастить техническим зрением и техническим интеллектом с использованием ЭВМ для анализа полученного изображения и управления положением захвата с деталью, т.е нужна система адаптивного управления роботом.

Однако такой робот будет стоить намного дороже, чем обычно применяемый грузозачерпывающий робот, и при современном уровне развития техники вряд ли будет конкурентоспособным для автоматической загрузки рассматриваемого токарного станка.

Для этого достаточно подсчитать срок окупаемости дополнительного оснащения робота техническим зрением и учесть, таким образом, разницу в стоимости интеллектуального и обычного грузозачерпывающего робота. Но ес-

ли всё же понадобится использовать интеллектуальный робот для автоматизации установки заготовок, то, чтобы определить необходимые требования к датчикам информации такого робота, к системе управления, точности позиционирования, необходимо выявить и рассчитать размерные связи. Иначе невозможно ни разработать, ни выбрать подходящий робот из числа имеющихся, ни запрограммировать его работу.

Таким образом, при автоматизации процессов необходим анализ возникающих в автоматизируемом процессе размерных связей.

Рассмотренная задача автоматической установки заготовки роботом в патрон аналогична многим другим, возникающим при сборке, например, при установке вала во втулку или наоборот, автоматической установке режущего инструмента в шпиндель станка или гнездо магазина и т.д. Размерные анализы автоматической сборки и загрузки станка рассмотрены упрощенно, только для смещения оси заготовки, но возможен и перекос осей. Вообще же положение одной детали относительно другой в пространстве характеризуется шестью параметрами: тремя перемещениями и тремя поворотами систем координат. Для анализа каждого из шести параметров должна быть построена размерная цепь.

Рассмотренный пример позволяет сделать следующие выводы: при автоматической установке заготовки или сборке изделия необходимо обеспечить соответствующие размерные связи, в противном случае автоматическая установка или сборка невозможны; обеспечение этих размерных связей не влияет непосредственно на конечные размерные показатели изделия, т.е. на возможность автоматической установки или сборки;

При автоматизации производственных процессов необходимо глубоко изучить сущность автоматизируемого процесса, в частности необходимо выявить и рассчитать размерные связи, выбрать МДТ и соответствующие средства реализации размерных связей в автоматическом производстве;

Для расчета размерных связей при автоматической сборке изделий автоматической установке заготовки, изделия, спутника, режущего инструмента на станок, в кассету, магазин и т. д., а также при автоматической стыковке транспортных средств можно пользоваться общей методикой размерного анализа автоматического сборочного процесса.

Размерные связи при стыковке транспортных тележек. Автоматические транспортные тележки с индуктивной, оптической или какой либо другой системой управления используют для автоматического транспортирования заготовок на спутниках, изделий, кассет с заготовками и инструментами.

На рисунке 3 показано положение транспортной тележки 3 относительно приёмного накопителя 4 в момент перегрузки спутника 1 с заготов-

кой 2 с тележки 3 на накопитель 4. Спутник 1 установлен на приводных роликах 5 конвейера тележки 3. Эти ролики могут вращаться электродвигателем, при этом спутник 1 перемещается на роликах. После того как тележка остановилась около станции, включается роликовый конвейер и спутник 1 перемещается к приемному накопителю 4. На накопителе 4 в верхней части установлен такой же, как на тележке конвейер, благодаря которому спутник перемещается на накопитель 4. Для того чтобы перемещение спутника с тележки на накопитель было возможным необходимо, прежде всего, чтобы конвейеры тележки и накопителя находились на одном уровне, т.е. на одинаковой высоте от пола.

В соответствии с методикой для размерного анализа рассматриваемого процесса прежде всего необходимо определить исходное звено размерной цепи, которое должно обеспечиваться для перемещения спутника.

При перемещении спутника допускается некоторый перепад высоты ЖД. Допустимое значение ЖД определяется конструкцией транспортирующего устройства и как видно на рисунке 3 – диаметром первого ролика.

Чем больше этот диаметр, тем больше максимально доступный перепад, при котором спутник может переместиться на накопитель. Допустимое значение ЖД определяется не только диаметром роликов, но и коэффициентом трения. Пусть в конкретном случае при расчёте установлено что  $ЖД = 0 \pm 10$  мм.

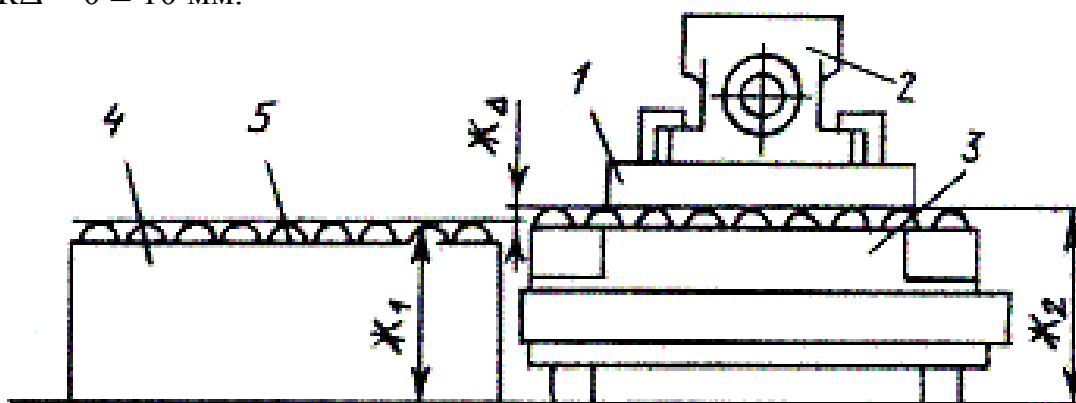


Рисунок 3 – Перегрузка спутника с транспортной тележки

В соответствии с методикой для размерного анализа рассматриваемого процесса, прежде всего, необходимо определить исходное звено размерной цепи, которое должно обеспечиваться для перемещения спутника.

При перемещении спутника допускается некоторый перепад высоты ЖД. Допустимое значение ЖД определяется конструкцией транспортирующего устройства и как видно на рисунке 3 – диаметром первого ролика. Чем больше этот диаметр, тем больше максимально доступный перепад, при котором спутник может переместиться на накопитель. Допустимое значение ЖД определяется не только диаметром роликов, но и коэффици-

ентом трения. Пусть в конкретном случае при расчёте установлено что  $Ж\Delta = 0 \pm 10$  мм.

Это означает, что ролики тележки могут находиться выше на 10 мм или ниже на 10 мм роликов накопителя или между этими крайними значениями. Стыковочный размер  $Ж\Delta$  является своеобразным условием собираемости при передаче спутника.

Далее необходимо построить размерную цепь  $Ж$ , в которой несовпадение высот является замыкающим звеном, а размеры  $Ж1$  – высота приемной станции и  $Ж2$  – высота тележки – являются составляющими звеньями.

Стыковка должна обеспечивать при подходе любой тележки транспортной системы к любому накопителю, следовательно, должна быть обеспечена в рамках рассматриваемой ГПС полная взаимозаменяемость тележек и накопителей.

При обеспечении  $Ж\Delta$  методом ПВ должны соблюдаться следующие условия:

$$\begin{aligned} Ж\Delta &= Ж2 - Ж1 \\ T\Delta &= T2 + T2 + T1 \\ \triangle 0_{\Delta} &= \triangle 02 - \triangle 01 \end{aligned} \quad (2)$$

В этой системе первое уравнение – уравнение размерной цепи в номинальных значениях. Номинальное значение размера  $Ж\Delta=0$  следовательно,  $Ж1 = Ж2$ , т. е. номинальные значения высоты приемной станции и тележки должны быть одинаковы. Какой именно будет номинальная высота при автоматизации загрузки, безразлично; пусть  $Ж1 = Ж2 = 1000 \triangle$  мм. Координата середины поля допуска  $0_{\Delta}$  размера  $Ж\Delta$  равна нулю, т. е. как допустимые отклонения симметричны, т. е.  $0_{\Delta} = 0$ .

Третье уравнение системы (2) справедливо при  $\triangle 01 = \triangle 02 = 0$ . Второе уравнение системы (2) показывает, что сумма допусков на высоту накопителя  $T1$  и высоту тележки  $T2$  не должна превышать допуска замыкающего звена  $T\Delta = 20$  мм. ( $Ж\Delta = 0 \pm 10$  мм.) Этому могут удовлетворить различные сочетания  $T1$  и  $T2$ , например  $T1 = T2 = 10$  мм. Однако допуск  $T1$  легче обеспечить чем  $T2$ , учитывая что тележка перемещается на колёсах, а накопитель установлен неподвижно.

Поэтому с учётом трудностей реализации допусков на практике выбираем решение:  $T1 = 6$  мм;  $T2 = 14$  мм. Тогда с учетом ранее принятой симметричности отклонений относительно номинального размера, что следует из  $\triangle 01 = \triangle 02 = 0$ , получится окончательное решение:  $Ж1 = 1000 \pm 3$  мм и  $Ж2 = 1000 \pm 7$  мм. Это значит, что высота от пола столов всех накопителей в ГПС должна быть не менее 997 мм и не больше 1003 мм, а высота любой из тележек должна находиться в пределах 993 – 1007 мм.

Мнозначность возможных сочетаний допусков  $T1$  и  $T2$ , удовлетворяющих условию  $T1 + T2 = 20$  мм, не является недостатком методики расчёта, это объективная закономерность проектного расчёта выражаю-

щая множество возможных путей решения проектных задач. Точное соотношение может быть установлено технико-экономическим расчётом стоимости реализации и эксплуатации транспортной системы.

Так, например, устанавливая допуск, следует учесть, что резиновые ободы колёс тележки по мере эксплуатации будут изнашиваться и поэтому при малом допуске на высоту тележки придётся часто её ремонтировать для восстановления допустимого размера Ж2.

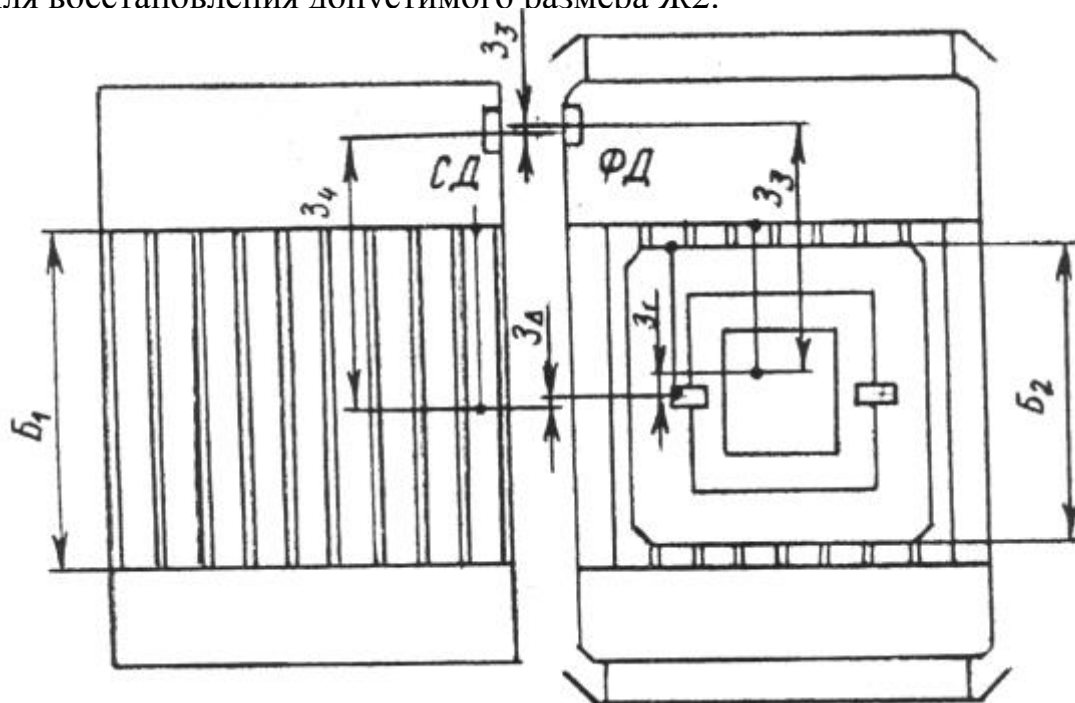


Рисунок 4 – Вид в плане на тележку перед передачей спутника

Условия расчёта можно еще более уточнить и усложнить, если учесть упругую деформацию тележки под действием веса перемещаемых деталей и добавочное поле рассеяния размера Ж2 при перевозке тележкой деталей различной массы. Таким образом, в рассмотренном примере необходима взаимная увязка размеров транспортной системы, без которой автоматическая погрузка и выгрузка неосуществимы. Аналогично вертикальным размерам должны быть увязаны и размеры в двух других координатных направлениях.

На рисунке 4 показан вид в плане на тележку со спутником и приёмную станцию рольгангового накопителя. Для того чтобы была возможна автоматическая передача спутника с тележки на станцию, необходимо, чтобы тележка остановилась напротив станции с требуемой точностью относительно позиционирования, если при подъезде тележки к станции не будет обеспечен требуемый размер ЗД, то автоматическая нагрузка спутника будет невозможна. Точная остановка тележки может осуществляться с помощью фотодатчика (ФД) установленного на тележке и взаимодействующего с источником света – светодиодом (СД).

Точность позиционирования тележки определяется многими факторами: массой, скоростью подъезда, точностью датчиков, качеством тормозной системы и другими параметрами. Так, например, точность позиционирования 34 автоматической тележки «Электроника» составляет  $\pm 10$  мм. Достаточно ли такой точности для конкретной транспортной системы?

Какая точность позиционирования необходима? Какие размеры и с какой точностью необходимо выдерживать при изготовлении, монтаже, наладке и эксплуатации транспортной системы? Ответы на эти вопросы можно получить, проведя размерный анализ рассматриваемых процессов. Без него невозможно обосновать необходимую точность размеров всех компонентов системы и осуществить выбор необходимых средств автоматизации, целенаправленно вести наладку системы.

На составленной схеме (см. рисунок 4) обозначим исходное звено размера цепи  $3\Delta$  - отклонение от соосности оси симметрии спутника и конвейера приемной станции. Далее построим размерную цепь 31 - 34. В этой цепи: 31 – отклонение от соосности симметрии оси спутника относительно оси симметрии конвейера тележки, вызванное погрешностью положения спутника на тележке; 32 – расстояние от оси симметрии спутника до ФД – конструктивный размер тележки 33 – отклонение от соосности ФД тележки и СД на приёмной станции, вызванное погрешностью позиционирования тележки, включающей погрешность фотодатчика и погрешность в результате инерционности срабатывания тормоза, а также инерционности самой тележки 34 – расстояние от источника света на приёмной станции до оси симметрии конвейера – конструктивный размер.

Исходный допуск соосности  $\Gamma_{\Delta} = 0,5 (B1 - B2)$ , где B1 и B2 – ширина точного соответственно конвейера станции и спутника. Увеличение  $\Gamma_{\Delta}$  за счёт увеличения B1 ограничено в связи с необходимостью точного позиционирования спутника на станции. Одно из возможных решений – поставить на станцию дополнительное позиционирующее устройство, которое после приёма спутника обеспечит его точное позиционирование.

### **4.3 Последовательность выполнения работы**

4.3.1 Изучить теорию размерного анализа процесса изготовления деталей в автоматическом производстве.

4.3.2 Получить индивидуальное задание у преподавателя.

4.3.3 Выполнить задание и оформить отчёт в соответствии с приложением А.

Вопросы для самостоятельной подготовки

- 1 Параметры описывающие качество деталей.
- 2 Реализация взаимосвязей размеров и свойств при проектировании.
- 3 Установочные размерные связи.

- 4 Операционные размерные связи.
- 5 Межоперационные размерные связи.
- 6 Технологические размерные связи.
- 7 Методика выявления и расчёта установочных размерных связей.
- 8 Цель выявления и расчёта размерных связей при автоматической установке деталей.
- 9 Условия определения предельно допустимого отклонения от соосности.
- 10 Возможности математического отображения размерных связей.
- 11 Разработка необходимых условий для автоматической установки заготовки.
- 12 Размерные связи при стыковке транспортных устройств.



## Практическая работа № 2 «Межоперационные размерные связи»

### 2 Цель работы

Освоить анализ межоперационных размерных связей при механической обработке заготовок на станках.

### 3 Перечень материалов, инструментов, оборудования

Не предусмотрено.

### 4 Методика проведения работы

Межоперационными размерными связями называют технологические размерные связи, проявляющиеся во взаимодействии операционных размеров детали и размеров заготовки на различных стадиях изготовления детали. Простейшей межоперационной размерной связью является связь размеров заготовки  $I_1$ , операционного размера детали  $I_2$  и припуска на обработку, показанная на рис. 1.

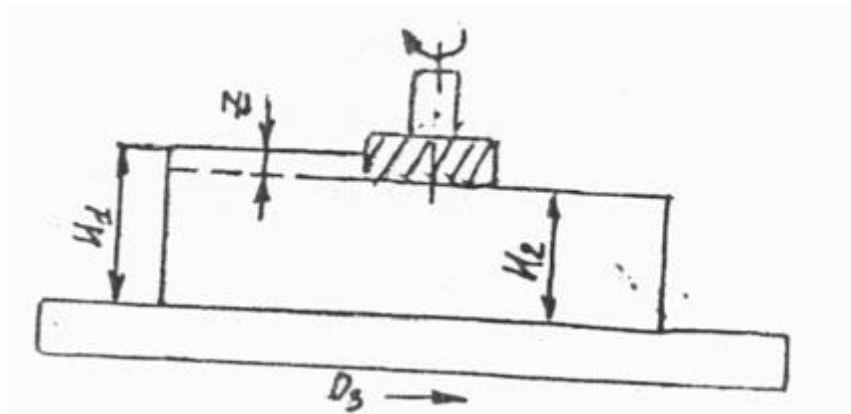


Рисунок 1 - Связь размеров заготовки  $I_1$ , изделия  $I_2$  и припуска  $Z$

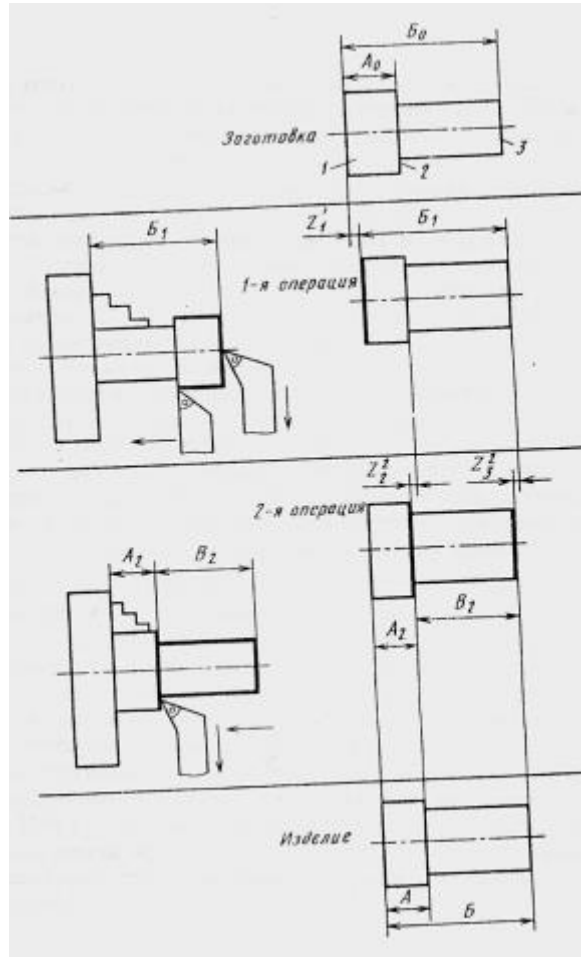


Рисунок 2 - Схема преобразования размеров заготовки в процессе изготовления детали

В результате обработки заготовки, имевшей размер  $I_1$ , удаляет припуск  $Z$ , который в данном случае является функцией двух размеров  $I_1$  и  $I_2$ . Связь определяется уравнением

$$Z = I_1 - I_2$$

Рассмотрим более сложный случай межоперационных размерных связей. Пусть необходимо изготовить двухступенчатый валик (рис. 2) Валик обрабатывается на токарном станке за два установка, как показано на эскизах наладок.

Все торцовые поверхности заготовки пронумерованы по порядку. Припуски показаны с двойной индексацией. Припуск  $Z^3_2$  означает, что он снимается с поверхности № 2 на операции № 3. Каждый из припусков в описанной схеме является замыкающим звеном соответствующей технологической размерной цепи:

$$Z^1_1 = B_0 - B_1 ; Z^3_3 = B_1 - A_2 - B_2.$$

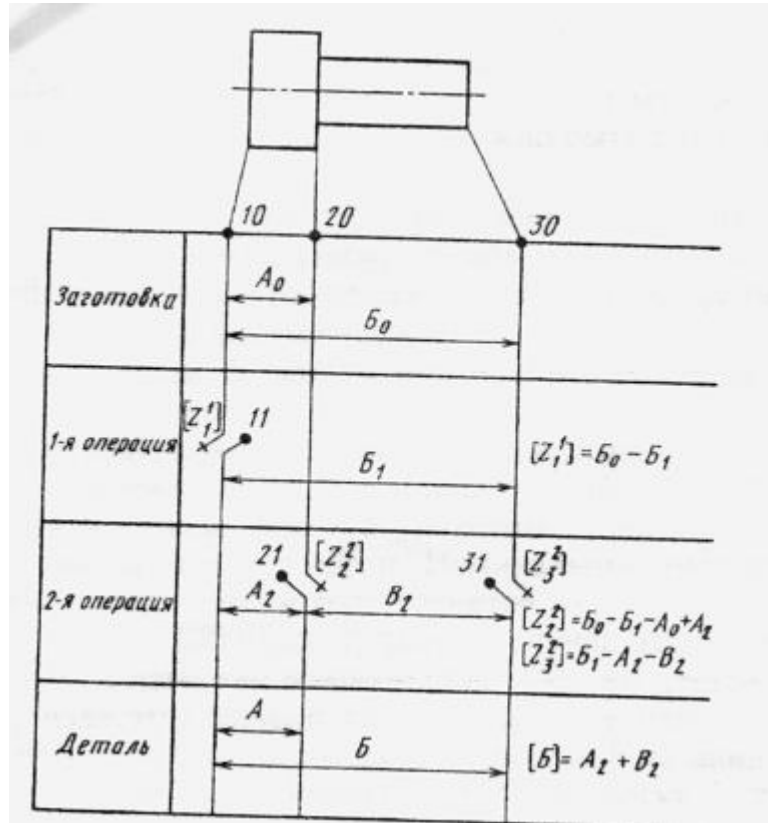


Рисунок 3 - Схема размерного анализа технологического процесса изготовления валика

Для того, чтобы составить уравнение можно схему технологических размерных связей представить по методике проф. В.В. Матвеева (рис. 3). На этой схеме наверху вычерчивается заготовка, внизу — изделие. Поверхности заготовки нумеруют слева направо цифрами 1, 2, 3 и т.д. и далее к номеру поверхности добавляют нули. Поверхности заготовки 10, 20, 30 обозначают точками, от них проводят вертикали. В зоне с надписью "Заготовка" наносят размеры заготовки  $A$  и  $B$ , которые, как и поверхности, имеют нулевые индексы, что указывает на принадлежность к размерам заготовки.

Число размеров должно быть на один меньше, чем число вертикальных линий. На данной схеме три поверхности и два размера между ними. Ниже зоны с размерами заготовки следуют зоны операций, на которых происходит изменение продольных размеров заготовки. В данном примере операции две.

На первой операции обрабатывают поверхность 10 заготовки, в результате чего поверхность 10 исчезает, а на ее месте появляется справа новая поверхность 11. Исчезновение поверхности 10 показывают крестиком, а появление новой поверхности 11 справа показывают жирной точкой. Разрыв вертикальной линии в данном случае показывает припуск, ко-

торый обозначен  $Z^1$  — припуск с первой поверхности на первой операции ставят рядом. Далее проставляют размер от вновь полученной поверхности 11 до технологической базы, которой является на первой операции торец 30 заготовки. Поэтому ставится между поверхностями 11 и 30 размер  $B_1$ .

Аналогично на второй операции снимают припуски  $Z^2$  и  $Z^3$  с поверхностей 20 и 30 заготовки. При этом образуются соответственно новые поверхности 21 и 31 слева от соответствующих поверхностей заготовки, поэтому крестики ставят на линиях справа, а точки — на новых поверхностях на линиях слева. На второй операции обязуются размеры  $A_2$  до базы и  $B$  - между поверхностями, обработанными за один установ. На этом получение продольных размеров заготовки заканчивается, поэтому ниже последней второй операции идет поле с надписью "изделие", где на продолжениях вертикалей ставятся размеры изделия в соответствии с чертежом.

После построения схемы продольных размеров составляют уравнения технологических размерных цепей для каждого замыкающего звена. Замыкающими звеньями являются, как правило, припуски и те размеры детали, которые не получают непосредственно ни на одной из операций технологического процесса. Чтобы выявить замыкающие звенья — размеры детали, если такие есть, необходимо последовательно проверить получение каждого размера детали. В данном случае, размер  $A$  совпадает с размером  $A_2$ , полученным на второй операции. Поэтому размер  $A$  не является замыкающим звеном, этот размер непосредственно получается на второй операции. Проверяем следующий размер  $B$ . Размер  $B$  непосредственно не получается ни на первой, ни на второй операции. Считать, что размер  $B_1$  является размером  $B$ , нельзя, так как между ними есть разрыв линии - припуск  $Z^2$ . Поэтому размер  $B$  является замыкающим звеном и определяется из уравнения  $[B] = A_2 + B_2$ .

Теперь составим уравнения для каждого из припусков. В нашем примере таких припусков три, следовательно, и уравнений три. При составлении уравнений пользуются следующим правилом: двигаясь от одной линии, ограничивающей замыкающее звено по горизонтальным размерам схемы и вертикалям, стремятся прийти к другой линии, ограничивающей то же самое замыкающее звено. Все размеры, по которым осуществляется движение, включаются в размерную цепь. При выявлении контура цепи проходить через разрывы вертикальных линий нельзя. Нельзя также двигаться по размерам детали. Пользуясь этим правилом, получим следующие уравнения для припусков:

$$[Z^1] = B_0 - B_1;$$

$$[Z^2] = B_0 - B_1 - A_0 + A_2;$$

$$[Z^3] = B_1 - A_2 - B_2.$$

Таким образом, для приведенного примера с учетом размера [Б] получим всего четыре уравнения по числу замыкающих звеньев размерных цепей. Число уравнений должно быть равно числу замыкающих звеньев.

Следующим этапом является решение уравнений. Для этого прежде всего следует разобраться, что нам известно о всех размерах, принимающих участие в уравнениях. Для этого все размеры удобно разделить на группы и рассмотреть их по порядку.

1. *Размеры детали.* В нашем примере это размеры А и Б. Они известны из чертежа изделия, где указаны их номинальные значения и допустимые предельные отклонения. При этом  $A = A_2$ .

2. *Размеры заготовки.* В данном случае размеры  $A_0$  и  $B_0$ . Для этих размеров в начале расчета известны лишь допуски, так метод получения заготовки выбран.

Номинальные значения размеров должны быть установлены в ходе расчетов.

3. *Операционные размеры.* В данном случае это размеры  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ . Размер  $A_2 = A$  известен полностью из чертежа детали. Для размеров  $B_1$  и  $B_2$  известны только ожидаемые поля рассеяния, которые могут быть получены при проведении операций на данных станках. Поля рассеяния для конкретных операций могут быть взяты из справочных таблиц, установлены экспериментально или могут быть рассчитаны как замыкающие звенья операционных размерных цепей. Итак, в начале расчета известны допуски указанных размеров. Номинальные значения и отклонения получают в результате расчета.

4. *Припуски на обработку*  $[Z^1]$ ,  $[Z^2]$ ,  $[Z^3]$ . Для припусков к началу расчета размерных цепей известны лишь их минимальные значения  $Z^1_{\min}$ ,  $Z^2_{\min}$ ,  $Z^3_{\min}$ , которые должны быть подсчитаны по формуле

$$Z_{\min} = R_z + D$$

где  $R_z$  — высота шероховатости поверхности заготовки;

$D$  - глубина дефектного слоя заготовки.

Значения параметра шероховатости поверхностей после каждого вида обработки могут быть взяты из справочников. Максимальные значения припусков рассчитывают в результате решения уравнений размерных цепей.

Аналогичным образом строят размерные схемы по другим координатным направлениям; в данном случае нужна еще схема диаметральных размеров, а также схема отклонений расположения поверхностей (от параллельности, от перпендикулярности).

В результате расчета размерных цепей определяют припуски, операционные размеры и размеры заготовки. Целью расчета является проверка возможности получения требуемых размеров детали в проектируемом технологическом процессе. В результате расчета определяются запасы или

допуски размеров детали или выявляется невозможность обеспечения того или иного размера детали. В последнем случае проектируемый технологический процесс нуждается в изменении. Такими изменениями могут быть: введение дополнительных проходов, введение дополнительных операций, изменение технологических баз на операциях, выбор другого метода получения заготовки и ряд других мероприятий.

Без проведения размерного анализа нового технологического процесса невозможно гарантировать получение детали требуемого качества. На тех заводах, где такие размерные анализы не проводятся, затрачивается много времени на внедрение новых технологических процессов, на их отладку, что существенно снижает экономическую эффективность производства.

В автоматизированном производстве отладка новых технологических процессов обработки вновь поступающих заготовок, особенно в ГПС, должна осуществляться автоматически, поэтому без такого расчета там обойтись невозможно. В противном случае наладку ГПС для изготовления новой детали осуществляют используя ручной труд высококвалифицированных наладчиков. Таким образом, размерный анализ целесообразен при любой степени автоматизации производства, но особенно необходим в автоматическом производстве.

Операционные и межоперационные технологические размерные цепи связаны между собой операционными размерами. Операционные размеры образуются как замыкающие звенья операционных размерных цепей различного вида, возможные структуры которых рассмотрены выше (см. табл. 2.1). В межоперационных размерных цепях операционные размеры 1 — 6-го видов (см. табл. 2.2) являются составляющими звеньями.

При технологической подготовке производства осуществлять аналитически расчет поля рассеяния операционного размера по составляющим звеньям за рядом исключений нецелесообразно, поскольку для каждой действующей технологической системы не составляет труда определить поле рассеяния операционных размеров из опыта эксплуатации.

В результате расчета межоперационных размерных цепей могут быть два варианта.

1. Все размеры детали обеспечиваются. Ряд операционных размеров имеют запасы по допускам. В этом случае в зависимости от типа операционного размера и запаса по допуску можно расширить допуски на некоторые наиболее критичные составляющие звенья. Например, можно увеличить допуск настроечных размеров некоторых инструментов при настройке их вне станка.

2. Некоторые размеры детали не обеспечиваются в заданных допусках. В этом случае необходимо внести изменения в проектируемый про-

цесс и, следовательно, в его размерные связи.

В проектируемый процесс можно внести изменения следующим способами.

1. Повысить точность операционных размеров следующим образом:

а) повышением точности составляющих звеньев соответствующих операционных размерных цепей, например, повышением точности настройки режущих инструментов вне станка, увеличением частота и качества очистки базовых поверхностей и т.д.; б) компенсацией погрешностей настройки, установки и размерного износа режущих инструментов, например, использованием контактных головок или (если это было предусмотрено) повышением частоты измерений, например, перед каждым рабочим ходом на токарном станке; в) применением адаптивного управления для сокращения погрешности размера динамической настройки или её компенсации при получении операционного размера;

2. Изменить вид операционного размера, например, заменой чистового точения отверстия развертыванием или использованием активного контроля размеров.

3. Ввести дополнительный рабочий ход или дополнительную операцию.

4. Изменить схему базирования заготовки.

5. Повысить точность размеров заготовки.

Помимо указанных, могут использоваться и другие способы, так, например, к п. 1 а могут относиться и изменение способа установки заготовки на спутник и способа повышения точности при использовании спутников, а также стабилизация или компенсация тепловые деформаций технологической системы и ряд других мер.

С использованием размерного анализа представляется возможности рассчитать требуемую частоту компенсации размерного износа режущего инструмента, обосновать применение автоматической очистки конуса шпинделя оправкой с замшевыми прокладками, использование контактной головки в конкретном случае. Таким образом, размерный анализ технологического процесса в автоматизированном производстве позволяет обосновать применение необходимых средств повышения точности при автоматическом получении размера, а также определить требования к точности, и режим использования этих средств, например определить требуемую точность компенсации размерного износа, диапазон компенсации, частоту измерения (перед каждым рабочим ходом или после обработки определенного числа заготовок в партии) и т.д. Таким образом, размерный анализ технологического процесса позволяет обосновать требования к средствам автоматизации для обеспечения требуемых размеров изделия.

### **Вопросы для самостоятельной подготовки**

- 1 Что такое межоперационная размерная связь?
- 2 Преобразование размеров заготовки в процессе изготовления детали?
- 3 В чём смысл методики профессора В.В. Матвеева?
- 4 Требования к средствам автоматизации для обеспечения заданных размеров изделий?



## **Практическая работа № 3**

### **«Размерный анализ автоматического сборочного процесса»**

#### **1 Правила техники безопасности**

К обслуживанию робота допускаются лица, прошедшие инструктаж и проверку знаний правил техники безопасности, которые заключаются в следующем:

- запрещается находиться в зоне движения робота во время его работы;
- ремонт, смазка, чистка, наладка робота во время работы запрещаются;
- реле давления в блоке подготовки воздуха должно быть отрегулировано на давление 0,4 МПа;
- запрещается работа на неисправном оборудовании.

#### **2 Цель работы**

Освоение методов размерного анализа автоматического сборочного процесса.

#### **3 Перечень материалов, инструментов, оборудования**

3.1 Промышленный робот ПР4-2

3.2 Штангенциркуль

3.3 Набор собираемых деталей

4 Методика проведения работы

4.1 Последовательность размерного анализа сборки

#### **4 Методика проведения работы**

##### **4.1 Последовательность размерного анализа сборки**

Систематизируем описанную в предыдущих разделах по частям методику размерного анализа сборки. Целями размерного анализа сборки является: обеспечение требуемого качества изделия; обеспечение возможности автоматизировать сборку.

Основные задачи размерного анализа следующие: выявление размерных связей на всех этапах осуществления **автоматического** сборочного процесса; выбор методов и средств осуществления автоматического сборочного процесса; определение требований к собираемым деталям, к точности работы используемых сборочных средств.

Общая последовательность размерного анализа автоматического сборочного процесса показана на схеме, приведенной на рис. 2.28. Размерный анализ включает этапы, описанные ниже.

1. Исходя из служебного назначения (СН) машины или сборочной единицы определяют требования точности (ТТ) положения и движения ее исполнительных поверхностей аналитически или экспериментально.

2. Определяют конструкторские размерные связи построением размерных цепей, где исходными звеньями являются ТТ изделия. Схема алгоритма показана на рис. 2.3.

3. Выбирают метод достижения точности (МДТ): полная, неполная, групповая взаимозаменяемость, регулировка или пригонка с учетом экономично достижимой точности изготовления звеньев при заданном объеме производ-

ства и возможностей автоматизации.

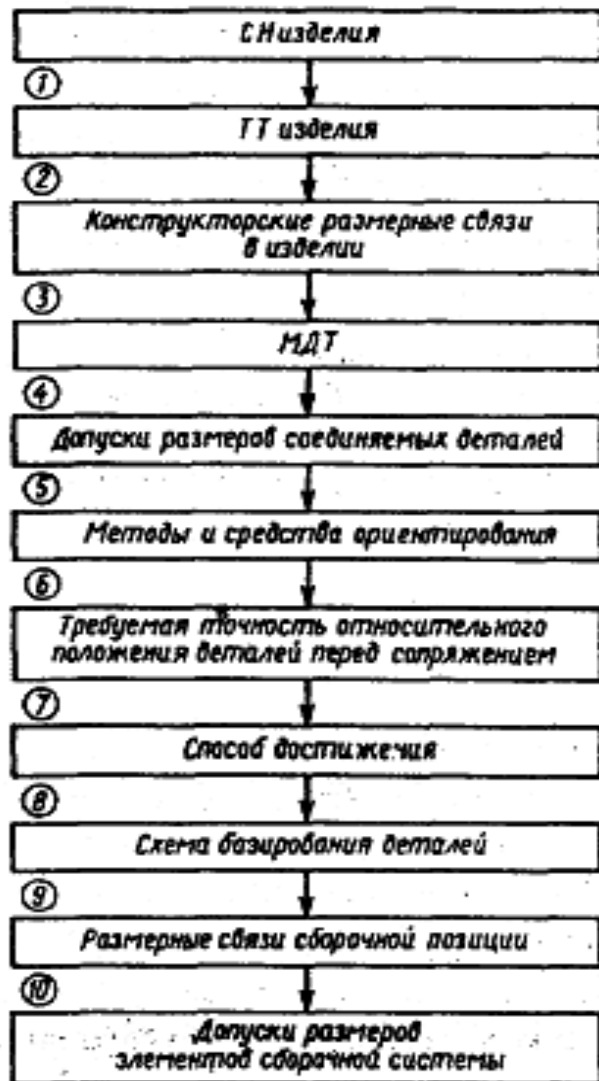


Рисунок 1 - Последовательность размерного анализа процесса автоматической сборки

4. Рассчитывают допуски соединяемых размеров деталей, которые необходимо выдержать при изготовлении деталей для того, чтобы было возможно достичь ТТ при сборке выбранным методом достижения точности.

Указанные 1- 4-й этапы характерны и обязательны при разработке процесса изготовления изделия с любой степенью автоматизации. Для автоматической сборки следует учесть особенности выбора и реализации МДТ, а также технологичность конструкции изделия. Остальные этапы для условий ручной сборки не нужны. Они необходимы только для автоматизированной сборки.

5. Выбирают методы и средства транспортирования и ориентирования собираемых деталей. Оценивают технологичность конструкции деталей.

6. Определяют требуемую точность относительного положения сопрягаемых перед сборкой деталей с учетом возможностей увеличения допусков благодаря использованию фасок.

7. Выбирают способ достижения требуемой точности относительного положения деталей (с координацией деталей рабочими органами сборочного автомата или поисковой системой).

8. Выбирают схему базирования собираемых деталей и разрабатывают устройства, реализующие требуемую схему с учетом обеспечения свободы перемещений и поворотов деталей по отдельным координатным осям.

9. Выбирают схему сборочной позиции и строят сборочные размерные цепи, исходными звеньями которых являются допустимые отклонения относительного положения координатных систем сопрягаемых деталей (см. п. б).

В результате проведенного размерного анализа сборочного процесса можно выявить: допустимые отклонения размеров сопрягаемых поверхностей, необходимые для реализации выбранного МДТ; допустимые отклонения расположения сопрягаемых поверхностей детали относительно ее технологических баз, используемых при сборке; параметры фасок по сопрягаемым поверхностям для улучшения условий собираемости; требования к поверхностям, используемым в качестве технологических баз при автоматической сборке, например, с целью снижения погрешности установки собираемой детали в рабочем органе сборочного автомата; требования к конструкции детали для облегчения ее ориентации.

Таким образом, размерный анализ сборки позволяет выявить взаимосвязь размеров собираемых деталей, деталей сборочной системы; обосновать требуемые точности размеров, обеспечивающие автоматическую сборку и требуемые параметры сборочной единицы.

Выявление и расчёт сборочных размерных связей рекомендуется проводить в следующей последовательности:

1) представить автоматизируемый процесс установки изделия эскизами и вычислить предельно допустимые отклонения в положении устанавливаемой детали относительно базовой, при которых обеспечивается установка;

2) построить размерные цепи, в которых допустимые отклонения являются исходными звеньями;

3) составить уравнение размерных цепей и определить возможные поля рассеяния составляющих звеньев;

4) выбрать МДТ исходных звеньев размерных цепей с учетом его реализации в автоматическом производстве;

5) произвести расчет допусков составляющих звеньев и выбрать методы и средства автоматической реализации процесса с учетом требуемой точности составляющих размеров размерной цепи.

Методику размерного анализа автоматического сборочного процесса рассмотрим на примере сборки валика и втулки промыш-

ленным роботом. Требуемый зазор в соединении достигается по методу полной взаимности.

Пусть сборку валика 1 со втулкой 2 осуществляет робот 3 (Рисунок 2а). Валик 1 захватывается роботом, позиционируется соосно с отверстием втулки 2 и далее робот опускает вал в отверстие втулки, осуществляется сборка. Эскизы валика и втулки показаны на рисунке 2б. Для того чтобы вал попал во втулку, необходимо обеспечить соосность валика и отверстия во втулке. Максимально допустимое отклонение от соосности определяется по формуле:

$$\Delta_{MAX} = \frac{1}{2} \cdot (D_{MIN} - d_{MAX}) + C_B + C_O,$$

где  $D_{min}$  — минимальный диаметр отверстия втулки;  $d_{max}$  — максимальный диаметр валика;  $C_B$ ,  $C_O$  — ширина фаски соответственно валика и отверстия.

Подставив в формулу указанные на рисунке 2 размеры соединяемых деталей, получим

$$\Delta_{MAX} = \frac{20 - (20 - 0,02)}{2} + 1 + 1 = 2,01 \text{ мм.}$$

Как видно, большую часть максимально допустимого отклонения обеспечивают фаски на деталях. Без фасок допустимое смещение составило бы 0,01 мм.

Допустимое отклонение  $V_{\Delta}$  от соосности валика и отверстия размерной цепи сборочной системы может быть представлено в следующем виде:  $V_{\Delta} = 0 \pm 2,01 \text{ мм.}$

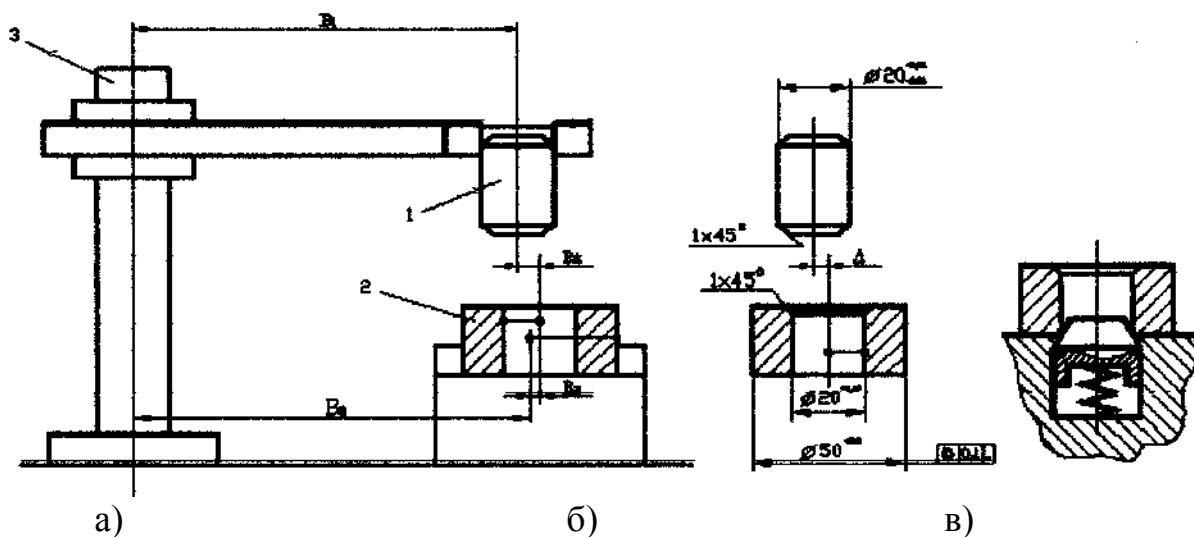


Рисунок 2 - Размерные связи при автоматической установке валика во втулку промышленным роботом

На рисунке 2,а показана размерная цепь:  $V_1$  - размер позиционирования захвата робота;  $V_2$  — соосность отверстия с наружной поверхностью втулки, являющейся основной базой втулки;  $V_3$  - размер, связывающий положение базирующего втулку приспособления и роботом. При наладке робота в режиме обучения добиваются соосности положения валика в захвате и отверстия во втулке, регулируя размер  $V_1$ , затем окончательный размер  $V_1$  заносится в память УЧПУ робота.

На этапе настройки робота размер  $V_{\Delta}$  достигается, таким образом, методом регулирования вручную. Затем в каждую втулку 2, попадающую на сборочную позицию устройства 3, автоматически устанавливается валик 1, переносимый роботом 3.

Каждый раз должна обеспечиваться автоматическая установка валика роботом во втулку. Для этого точность размера  $V_{\Delta}$  при автоматической сборке должна обеспечиваться методом полной взаимозаменяемости. В этом случае номинальные значения составляющих звеньев размерной цепи нас могут не интересовать, так как была произведена начальная настройка, следовательно, уравнение размерной цепи превращается в тождество. Уравнение допусков запишется в следующем виде:

$$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3,$$

где  $T_{\Delta}$  - допуск замыкающего звена  $V_{\Delta}$ ;  $T_1, T_2, T_3$  - допуски звеньев соответственно  $V_1, V_2, V_3$ . В соответствии с чертежом (рисунок 2,б), если не использовать фаски деталей, то  $T_{\Delta} = 0,02$  мм;  $T_2 = 0,2$  мм (допуск соосности  $\pm 0,1$ );  $T_3 = 0,01$  мм - допуск на тепловые деформации. В этом случае получим:  $0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$ , где  $T_1$  - допуск позиционирования робота. Из полученного уравнения ясно, что ни при каком значении  $T$ , (всегда  $T > 0$ ) нельзя обеспечить автоматическую сборку данного изделия. Анализ уравнения допусков показывает, что автоматическая сборка не осуществима при  $T_2 = 0,2$  мм - допуске отклонения от соосности отверстия и наружной поверхности втулки.

Одной из возможностей реализации автоматической сборки является ужесточение требований к соосности отверстия и наружной поверхности втулки. Это удорожает изготовление втулки, но позволяет автоматизировать сборку.

Есть и другая возможность реализации автоматической сборки. Можно изменить базирование втулки в приспособлении. Втулку следует ориентировать не по наружному, а по внутреннему диаметру, например, с помощью подпружиненного конуса (рисунок 2,в). В этом случае из размерной цепи  $V$  исключается размер  $V_2$  - соосность втулки, и тогда уравнение допусков примет вид  $0,02 = T_1 + 0,01$ , откуда

$T_1 = 0,01$  мм. Следовательно, если использовать робот с погрешностью позиционирования не более  $\pm 0,005$  мм, то автоматическую сборку

можно осуществить. Правда, робот с такой погрешностью позиционирования весьма дорого стоит.

Расчет был сделан из предположения, что фаски деталей не используются. При использовании фасок  $T_{\Delta} = 2\Delta_{\max} = 4,02$  мм. Уравнение допусков примет следующий вид:  $4,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$ , откуда  $T_1 = 3,81$  мм. При использовании фасок, значительно увеличивающих допустимое отклонение от соосности деталей (с 0,02 до 4,02 мм), можно использовать робот с погрешностью позиционирования  $\pm 1,9$  мм. Практически даже у загрузочных роботов эта погрешность составляет  $\pm 1,0$  мм. Такой загрузочный робот, следовательно, вполне можно использовать для автоматической сборки рассматриваемого комплекта деталей: валика со втулкой.

Однако необходимо помнить, что из-за использования фасок при сборке по крайней мере одна собираемая деталь из двух должна иметь возможность свободно перемещаться в горизонтальной плоскости на расстояние, равное ширине фасок, т.е. в данном случае на 2 мм. С этой целью втулку не следует жестко зажимать по наружной поверхности, как это было возможно, когда фаски не использовались для самоцентрирования. Втулку необходимо поставить в приспособление с радиальным зазором 2 мм. В процессе установки валика во втулке роботом втулка может смещаться в зазоре под действием боковых сил, действующих по фаскам. Фаски должны быть сделаны под такими углами, чтобы не было самоотторжения и, как следствие, заклинивания деталей при сборке. Вместе с тем ориентация втулки по боковой цилиндрической поверхности с зазором в гнезде кассеты является источником дополнительной погрешности установки, отклонения от соосности, - которая должна учитываться в размерной цепи В отдельным звеном. Это звено размерной цепи является, по существу, подвижным компенсатором при достижении точности замыкающего звена размерной цепи - допустимого отклонения от соосности  $V_{\Delta}$  методом автоматического регулирования.

Если зазор между втулкой и гнездом в кассете будет больше требуемого для компенсации значения, то при сборке валик может торцом упереться в торец втулки и автоматическая сборка также будет невозможна. Таким образом, ширина зазора между втулкой и гнездом в кассете должна быть определена расчетом. Слишком маленький зазор не позволит втулке смещаться и использовать заходные фаски при сборке, а слишком большой зазор приведет к чрезмерно большой погрешности положения втулки в кассете. Практически приходится использовать лишь частично возможности расширения допуска  $T_{\Delta}$  благодаря использованию фасок. При расчете требуемого диаметра отверстия в кассете под втулку необходимо учесть также допуски диаметров втулки и отверстия в кассете.

Лучшие условия для автоматической сборки можно создать, если втулка будет центрироваться в отверстии кассеты или в специальном при-

способлении для сборки и в то же время будет иметь необходимую свободу относительных боковых перемещений. Это можно обеспечить, подпружинив втулку симметрично с боковой стороны установкой, например, трех пружин под углом  $120^\circ$  в плане. Поскольку в этом случае пришлось бы оснащать все гнезда кассеты такими пружинами для центрирования втулок или использовать дополнительное загрузочно-разгрузочное устройство для установки втулок в специальное «плавающее» приспособление, то целесообразно обеспечить подпружиненный в боковых направлениях захват валика, устанавливаемого во втулку.

Жесткость пружинящих элементов выбирают исходя, с одной стороны, из требуемой надежности центрирования, а с другой, - из допустимого значения боковой силы при автоматической установке валика по фаскам. Максимальное значение возможного смещения определяют, как было показано, расчетом размерной цепи. Зная жесткость и значение возможного смещения, можно рассчитать и сконструировать требуемое устройство.

В данном примере проанализировано только смещение осей при автоматической установке валика во втулку. Однако необходимо аналогичным образом рассмотреть способы достижения требуемого угла скрещивания осей валика и отверстия во втулке. Может потребоваться такое крепление валика в захвате, которое бы обеспечивало возможность не только радиального смещения валика при установке во втулку, но и поворот оси валика в двух вертикальных плоскостях. Таким образом, задача существенно усложняется.

Анализ размерных связей при сборке позволяет, таким образом, согласовать размеры сборочной системы, обосновав требования к точности используемого робота, деталям для автоматической сборки и приспособлениям. При ручной сборке такой анализ не нужен, при автоматической - необходим. Автоматизация сборки требует расчета размерных связей.

## **4.2 Последовательность выполнения работы**

4.2.1 Изучить теорию размерного анализа сборки

4.2.2 Получить индивидуальное задание у преподавателя

4.2.3 Выполнить задание согласно подразделу 4.1 и оформить отчет в соответствии с приложением А

## **5 Вопросы для самостоятельной подготовки**

1 Цель размерного анализа сборки

2 Основные задачи размерного анализа

3 Общая последовательность размерного анализа

4 Отличия последовательности размерного анализа при разработке процесса изготовления изделий для различных условий сборки

5 Что позволяет выявить размерный анализ сборочного процесса?

6 Последовательность выявления и расчета сборочных размерных связей

- 7 Использование фаски для самоцентрирования при сборке
- 8 Возможности для реализации автоматической сборки
- 9 Метод полной взаимозаменяемости при размерном анализе автоматического сборочного процесса



## **Практическая работа №4 «Расчёт захватных устройств промышленных роботов для металлорежущих станков»**

### **1 Правила техники безопасности**

Каждый студент до начала лабораторных работ обязан ознакомиться с безопасными методами работы и расписаться в журнале учета инструктажа по технике безопасности.

Без предварительного прохождения специального инструктажа по технике безопасности, студенты к проведению лабораторных работ не допускаются.

Инструктаж студентов на рабочем месте проводит инженер или уч.мастер под контролем преподавателя.

При выполнении данной работы студент должен выполнять следующие требования:

1.Главный щит питания и распределительный щит с защитой может быть включен только преподавателем, либо с его разрешения инженером или уч.мастером, который проводит занятия. Работа на параллельном оборудовании во время лабораторных работ запрещается.

2.Все лабораторные стенды и установки должны иметь индивидуальные щитки и сигнальные устройства, а также должны быть подключены к общему контуру заземления. В случае обнаружения нарушения заземления выполнять работу запрещается, а о неисправности доложить преподавателю.

3.Перед началом сборки схемы следует убедиться, что все пакетные выключатели или рубильники, содержащие входные зажимы цепи с питающей цепью, находятся в выключенном состоянии.

4.Запрещается пользоваться для монтажа схем проведения с поврежденной изоляцией, приборами и оборудованием с неисправными клеммами.

5.Собранная схема должна быть представлена для проверки инженеру и после контроля преподавателем может быть подключена к источнику питания. Включать схемы и стенды без разрешения преподавателя запрещается.

6.Перед включением стендов, схем следует проверить, не касается ли кто-либо из присутствующих к токоведущим переключателям. Обо всех включениях или переключениях необходимо предупреждать членов подгруппы, и производить их только при выключенном напряжении.

7.Обо всех неисправностях в работе оборудования следует сразу же сообщить преподавателю.

8.При любом несчастном случае необходимо немедленно выключить напряжение, сообщить преподавателю и принять меры для оказания первой медицинской помощи пострадавшему.

9. Все переключения органов управления должен производить только один студент подгруппы.

## **2 Цель работы**

Ознакомить студентов с конструкциями захватных устройств промышленных роботов, методами их подбора и расчета.

## **3 Перечень материалов, инструментов, оборудования**

В практической работе не предусмотрено.

## **4. Методика проведения работы**

1. Основные параметры

1.1. Захватные устройства ПР должны изготавливаться в двух исполнениях:

1 - сменные;

2 - быстросменные.

Захватные устройства обоих исполнений должны изготавливаться узкодиапазонными и широкодиапазонными.

1.2. Грузоподъемность ЗУ должна соответствовать одному из значений следующего ряда: 0,63; 1,25; 2,50; 5,00; 10,00; 20,00; 40,00; 80,00; 160,00; 250,00; 500,00; 1000,00 кг.

1.3. Наибольший размер поверхности захватываемой схватывающими ЗУ D,L (рисунок 1 должен соответствовать одному из значений следующего ряда: I; 4; 10; 32; 50; 80; 125; 200; 300; 500 мм.

Узкодиапазонные ЗУ должны обладать возможностью захватывания при переналадке поверхностей с размерами, включающими соседние меньшие значения указанного ряда.

Широкодиапазонные ЗУ должны обладать возможностью захватывания без переналадки поверхностей, с размерами, включающими соседние меньшие значения указанного ряда.

1.4. Типы и примеры конструктивных исполнений ЗУ и основные расчетные формулы приведены в справочных приложениях 2, 3.

1.5. Конструкция и основные размеры мест крепления сменных ЗУ должны соответствовать указанным на рисунок 2 и в таблице 1.

1.6. Конструкция мест крепления быстросменных ЗУ должна соответствовать указанной на рисунке 3.

1.7. Конструкция и основные размеры хвостовиков крепления быстросменных ЗУ должны соответствовать указанным на рисунке 4 и в таблице 2.

1.8. Конструкция и основные размеры гнезд для крепления быстросменных ЗУ должны соответствовать указанным на рисунке 5 и в таблице 3.

1.9. Допустимый изгибающий момент и допустимая осевая нагрузка для каждого типоразмера мест крепления Приведены в рекомендуемом приложении 1.

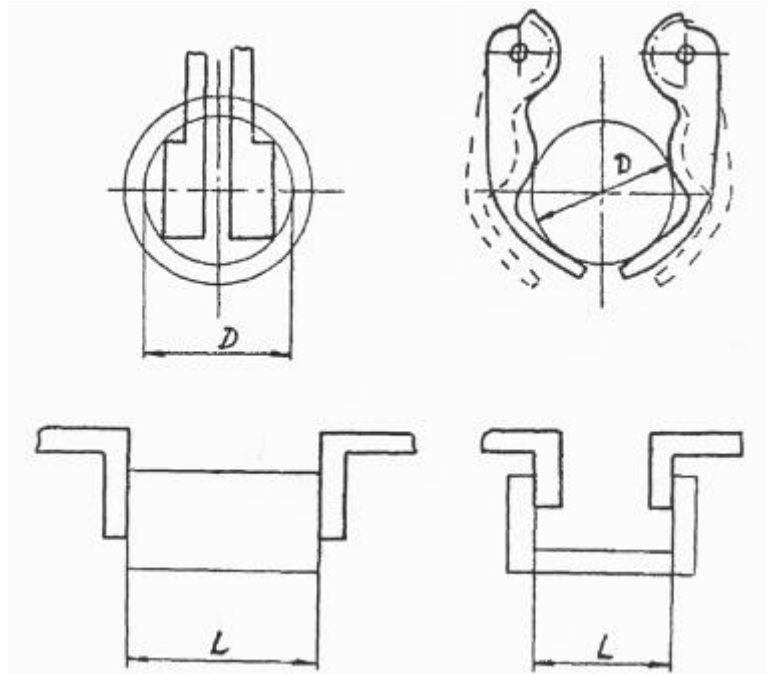


Рисунок 1 - Размеры захватываемой поверхности

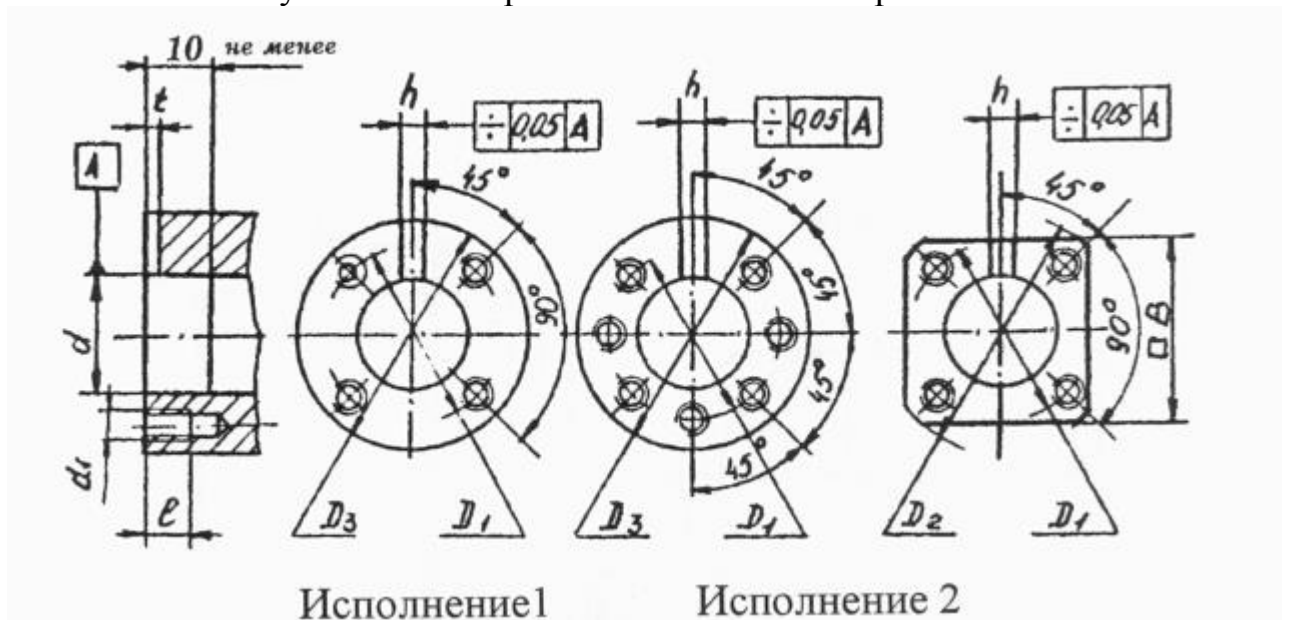


Рисунок 2 – Места крепления сменных захватных устройств

Таблица 1 – Отклонение центрального угла между осями крепёжных отверстий (в мм) по ГОСТ 141 40-69

$d$ /Пред. отк. по НЗ/	$D_1$ /Пред. отк. по К 2/	$d_1$	$t_1$ не менее	$D_2$	$D_3$ не менее	$R$ /Пред. отк. по К9/	$t$	$R$		$B$
								исп. I	исп. II	
10	18	M4	6	30	26	3	2			20
20	30	M5	7	40	40	4	2	4	4	30
40	52	M6	9	60	64	5	3			48
60	76	M8	12	76	92	6	3	7	4	68
90	110	M10	15	144	130	8	4			110
120	140	M10	15	180	160	8	4			140
160	184	M12	18	240	208	10	5			182
200	232	M16	24	300	264	12	5			230

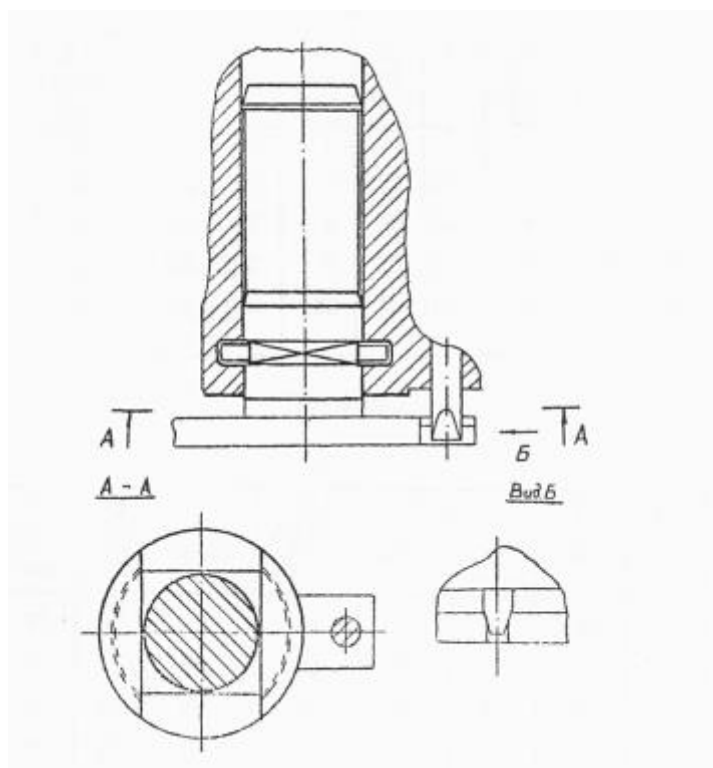


Рисунок 3 – Места крепления быстросменных захватных устройств

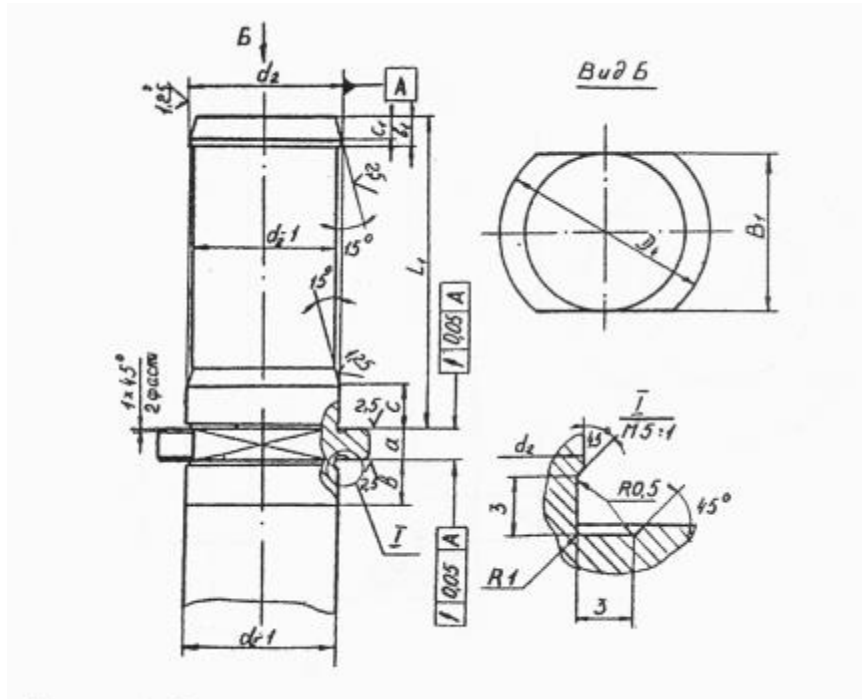


Рисунок 4 – Хвостовики быстросменных захватных устройств

Таблица 2

$d_2$ /Пред. откл. по 8/	$D_4$	$L_1$	$a$ /Доп. откл. -0.05/	$b$ , не менее	$c$	$B_1$ /Доп. откл. ±0.1/	$b_1$	$c_1$
20	32	40	6	8	8	20	6,0	5
30	44	60	8	10	10	30	7,5	6
40	56	85	8	10	12	40	8,0	6
50	68	100	8	10	12	50	8,0	6
60	80	120	10	12	12	60	8,0	6

Примечание: Все данные приведены в мм

Таблица 3

$d_3$ /Пред. отк. до 19/	$D_5$ /Доп. отк. $\pm 0,2$ /	$D_6$ , не менее	$B_2$ /Доп. отк. $\pm 0,1$ /	$l_1$ , не менее	$l_2$	$l_3$ , не менее	$L_1$
20	33	42	21	7	6	20	40
30	45	55	31	9	8	25	60
40	57	68	41	9	8	25	85
50	69	80	51	9	8	25	100
60	81	92	61	11	10	30	120

Примечание: Все данные приведены в мм

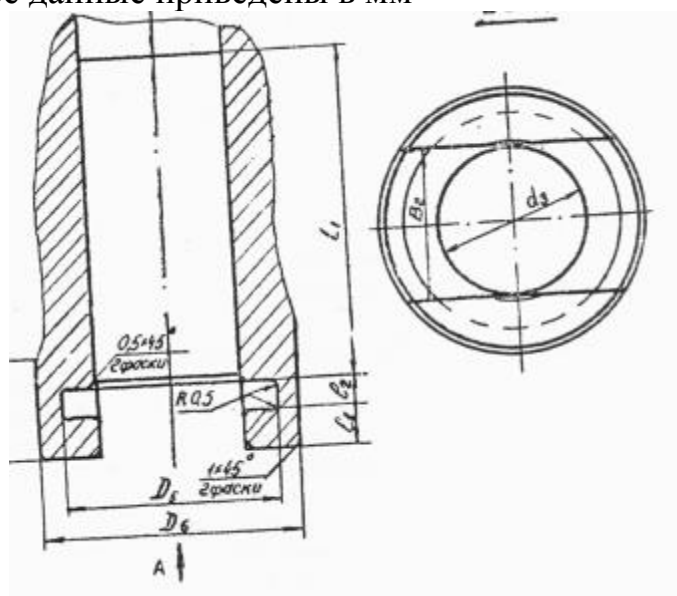


Рисунок 5 – Гнёзда быстросменных захватных устройств  
Допустимые нагрузки на места крепления ЗУ

Таблица 4 – Допустимый изгибающий момент по типоразмерам мест  
крепления сменных ЗУ, кгс м. Соединения с резьбой по СТ СЭВ 182-75

Исполнение	Диаметр базового отверстия, d мм							
	10	20	40	60	90	120	160	200
I	2,0	5,0	14	40	130	170	330	780
II	2,0	5,0	14	40	90	110	220	520

Таблица 5 – Допустимая осевая нагрузка по типоразмерам мест крепления быстросменных ЗУ, кгс, для материала сталь 35 ГОСТ 1050-74

Диаметр хвостовика, d2, мм	20	30	40	50	60
Осевая нагрузка	1200	2500	3400	4300	6500

### **Конструктивные исполнения захватных устройств**

Основными типами деталей, загружаемых в станки роботами, являются тела вращения. Для их захватывания, как правило, используются схватывающие, механические, центрирующие ЗУ. Среди них можно различить широкодиапазонные ЗУ, имеющие обычно реечные или зубчатые передаточные механизмы и узкодиапазонные ЗУ, строящиеся на базе клиновых или рычажных механизмов. За счет большой редукции механизмов узкодиапазонных ЗУ удастся значительно уменьшить рабочее усилие их приводов, однако, они уступают широкодиапазонным по технологическим возможностям.

Для захватывания деталей коробчатой формы применяются обычно также схватывающие механические центрирующие захваты, имеющие параллельные губки.

Для захватывания плоских деталей находят применение вакуумные и магнитные ЗУ.

Ниже даются примеры конструктивных исполнений ЗУ.

#### 1. Центрирующее широкодиапазонное ЗУ для валов с губками специального профиля и реечным передаточным механизмом.

Устройство (рис. 6) имеет две пары поворотных губок 1, свободно сидящих на осях 2, Профиль губок 1 обеспечивает центрирование захватываемых поверхностей деталей в широком диапазоне размеров. На губках 1 выполнены зубчатые секторы 3, входящие попарно в зацепление с рейками 4. Рейки 4 связаны рычагами 5, образующими с ними шарнирный параллелограмм. Рычаги 5 шарнирно связаны с тягой 6 привода. Такое устройство обеспечивает независимую работу каждой пары губок; что требуется при захватывании ступенчатых валов. Части 7 профиля губок 1 выполнены срезанными по толщине, части 8 имеют полную толщину. Это обеспечивает подхватывание и центрирование деталей расположенных в момент захватывания со смещением, а также гарантирует центрирование ступенчатой детали в случае расположения ступени в месте захватывания.

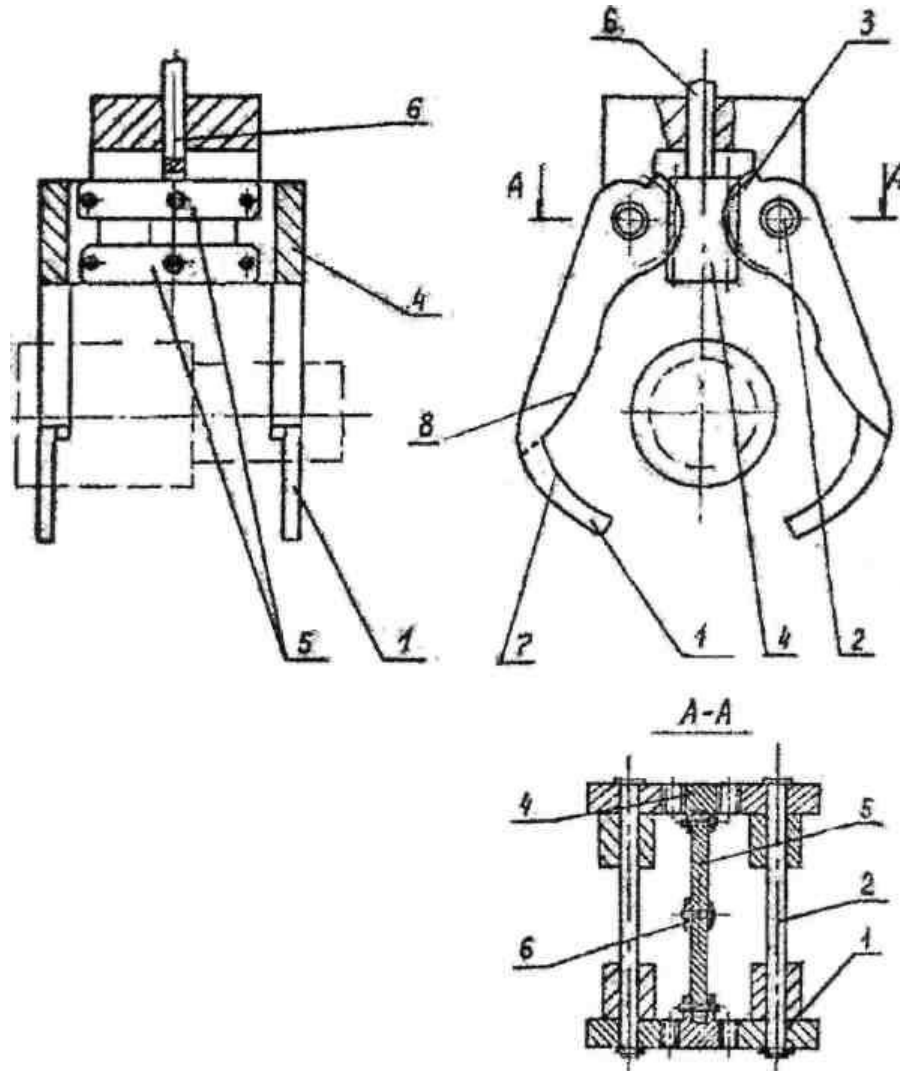


Рисунок 6 – ЗУ для валов с губками специального профиля и реечным механизмом

2. Центрирующее широкодиапазонное ЗУ для фланцев с губками специального профиля и реечным передаточным механизмом.

Устройство (рис.7) имеет пару поворотных губок 1, свободно сидящих на осях 2. На губках 1 выполнены зубчатые секторы 3, входящие в зацепление с рейкой 4. Рейка 4 соединена с тягой 5 привода ЗУ. Профиль губок выполняется аналогично ЗУ согласно п. 1. Устройство гарантирует центрирование захватываемой поверхности, однако не обеспечивает прижима базового торца детали к базам зажимного приспособления станка, поэтому при использовании данного ЗУ требуется наличие на станке устройства, осуществляющего прижим детали к базам.



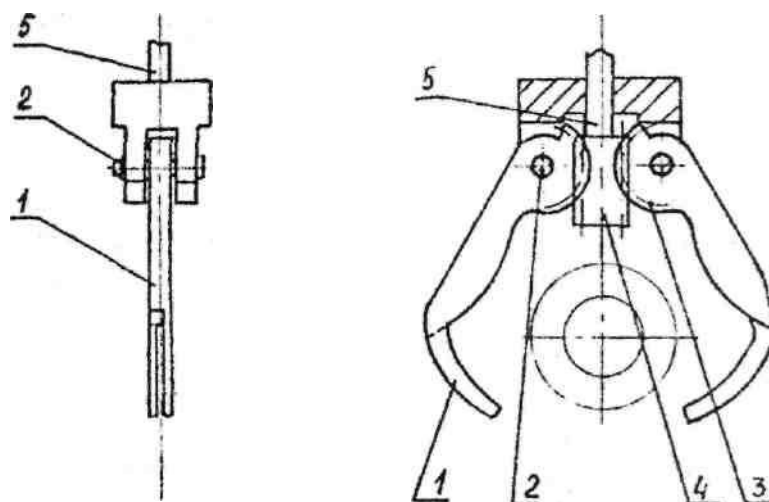


Рисунок 7- ЗУ для фланцев с губками специального профиля и реечным передаточным механизмом

3. Центрирующее широкодиапазонное ЗУ для фланцев с губками специального профиля и реечным передаточным механизмом, обладающее меньшим габаритом.

Устройство (рис.8) аналогично устройству согласно п.2. Отличие состоит в том, что одна из губок 1 имеет участки профиля 2 и 3, а вторая губка 4 имеет только участок профиля 3. Обе губки имеют на всей длине одинаковую толщину. Такая конструкция обладает большей компактностью и позволяет оставлять меньшие зазоры между захватываемыми деталями. Однако ЗУ данного типа требует более высокой точности совпадения оси захвата и детали перед захватыванием.

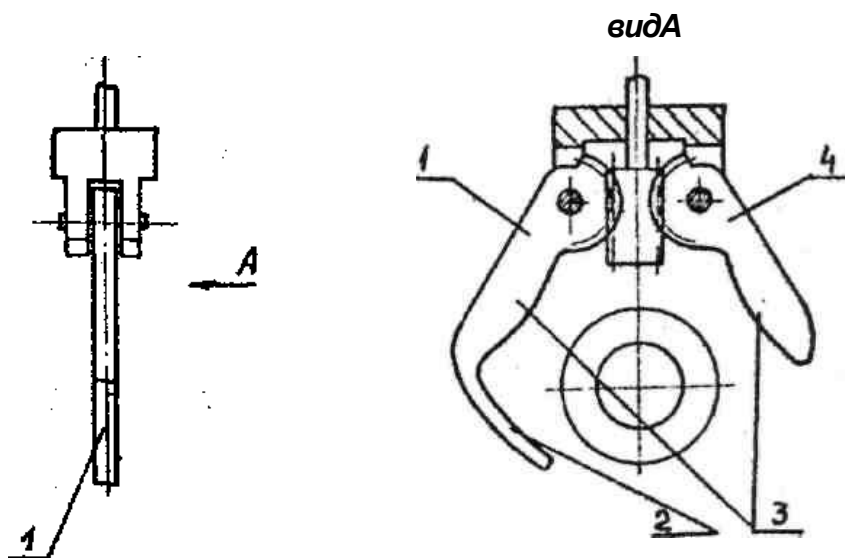


Рисунок 8 - ЗУ для фланцев с губками специального профиля и реечным передаточным механизмом, обладающим меньшим габаритом

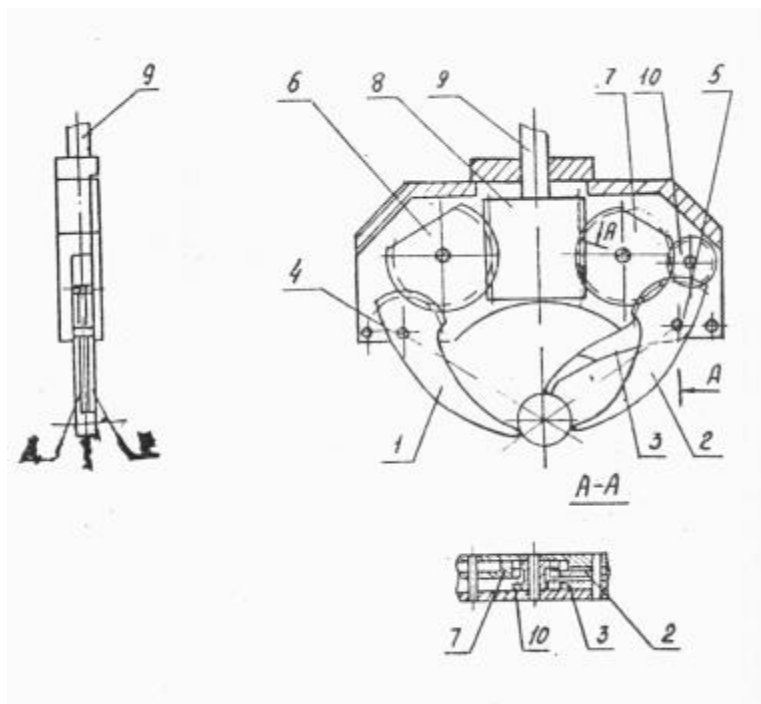


Рисунок 9 – ЗУ с тремя губками и зубчатым передаточным механизмом

5. Центрирующее узкодиапазонное двухпозиционное ЗУ последовательного действия для фланцев.

Устройство (рис. 10) имеет удлиненный прямоугольный корпус 1 с двух сторон которого выполнены две пары вертикальных направляющих. В направляющих могут перемещаться линейки 2,3,4,5, с рифлениями, к которым винтами крепятся призмы 6,7,8,9. Линейки каждой стороны попарно сцеплены между собой через рейки и срезанные шестерни 10 и 11. Такое соединение приводит к встречному движению призм и обеспечивает центрирование деталей. Линейки 2 и 4 приводятся в движение гидроцилиндрами 12 и 13, встроенными в захват. Ход призм, ограниченный ходом цилиндров определяет диапазон ЗУ в пределах одной размерной наладки. Переналадка с размера на размер производится перезакреплением призм на линейках.

Одна из позиций ЗУ используется в качестве разгрузочной, вторая в качестве загрузочной. Перемена мест позиций производится поворотом ЗУ вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$ .

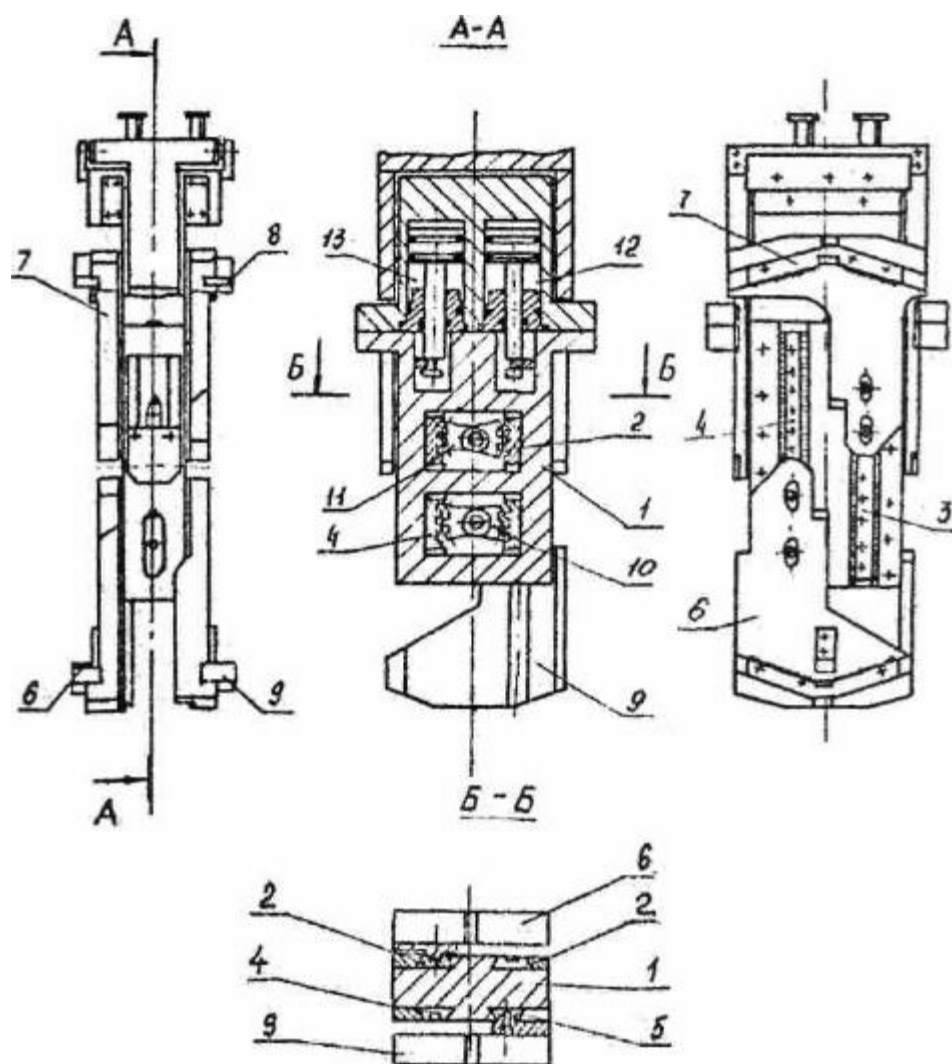


Рисунок 10 – ЗУ последовательного действия для фланцев

6. Узкодиапазонное ЗУ для фланцев и колец с рычажным передаточным механизмом.

Устройство (рис. 11) содержит корпус 1, являющийся передней частью пневмоцилиндра.

На штоке 2 цилиндра закреплена планка 3, несущая оси тяг 4. Тяги 4 шарнирно связаны с задними концами поворотных рычагов 5, к которым крепятся держатели 6, несущие захватные элементы 7. В устройстве предусматривается переналадка на другой диапазон захватываемых поверхностей. Для этого используется: перестановка осей тяг 4 в выполненные для этого дополнительные отверстия планки 3, сдвиг держателей 6 по рычагам 5, смена захватных элементов 7, смена держателей 6.

7. Центрирующее широкодиапазонное ЗУ с параллельными губками для коробчатых деталей и тел вращения.

Устройство (рис. 12) содержит корпус 2, несущий оси рычагов 2,3,4,5. К нижним концам каждой пары рычагов (2;3 и 4;5 соответственно) шарнирно крепятся планки 6 и 7, так что рычаги, планки и корпус образуют пару шарнирных параллелограммов. На рычагах 3 и 4 выполнены зубчатые секторы, входящие в зацепление с рейкой 8, которая соединена тягой 9 привода ЗУ.

Такое соединение приводит к симметричному движению планок 6 и 7 и обеспечивает центрирование. К планкам 6 и 7 винтами крепятся сменные захватные элементы: для захватывания коробчатых деталей 10, для захватывания тел вращения с разной ориентацией осей 11 и 12.

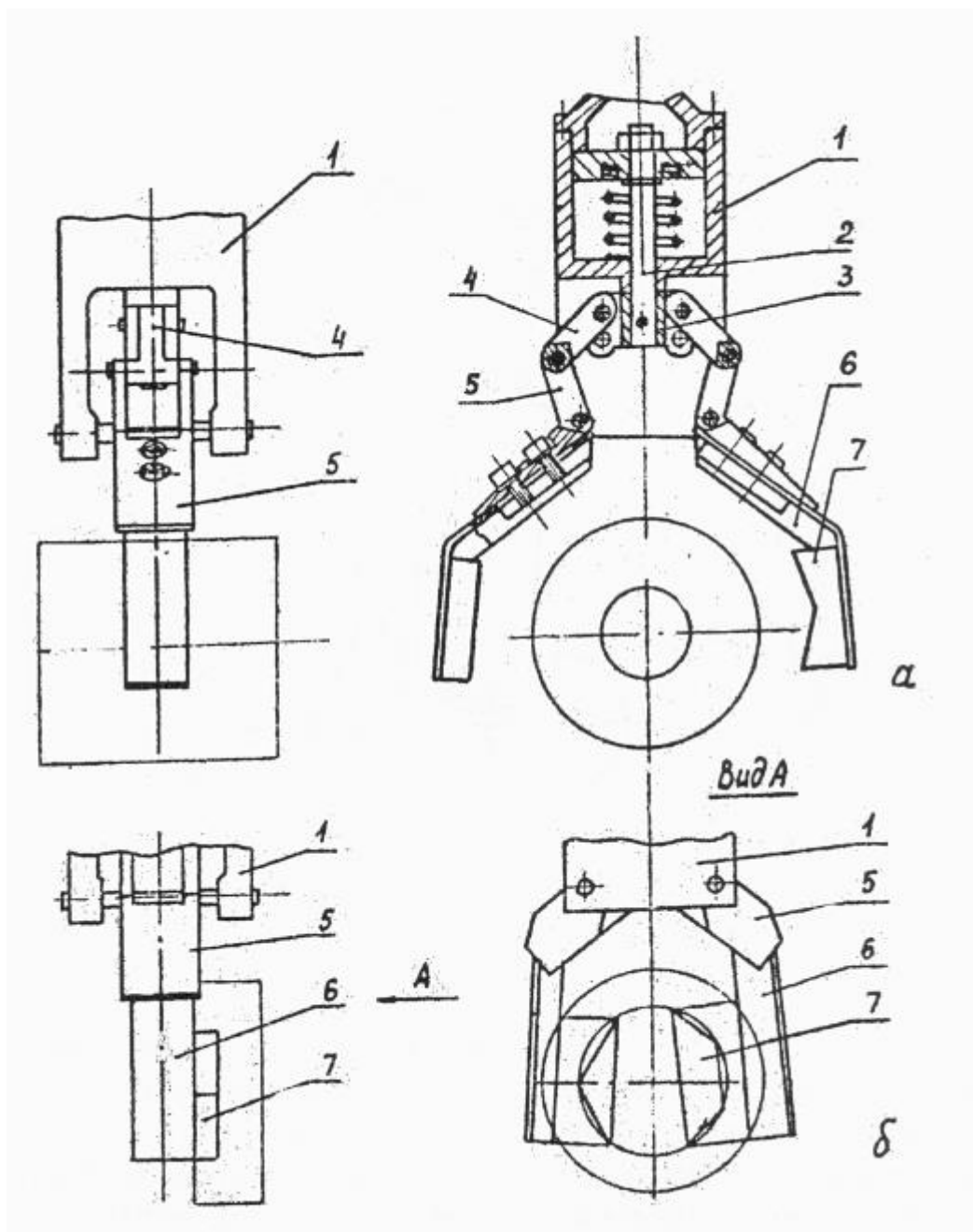


Рисунок 11 – ЗУ для фланцев и колец с рычажным передаточным механизмом

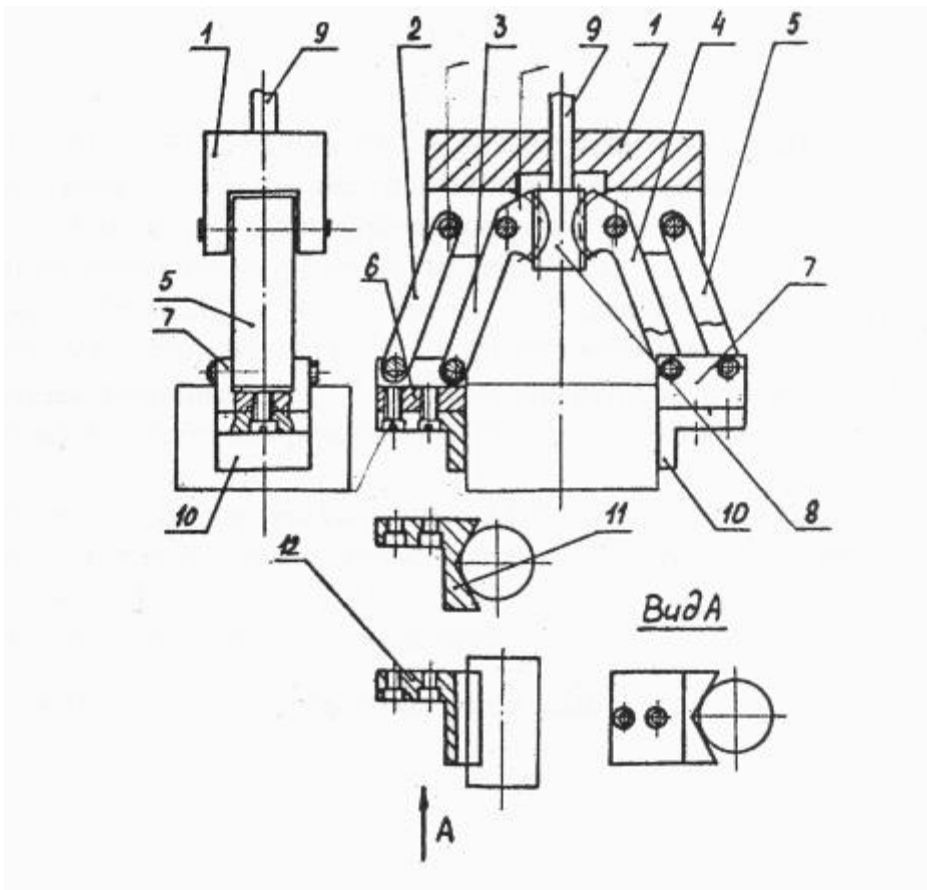


Рисунок 12 – ЗУ с параллельными губками для коробчатых деталей и тел вращения

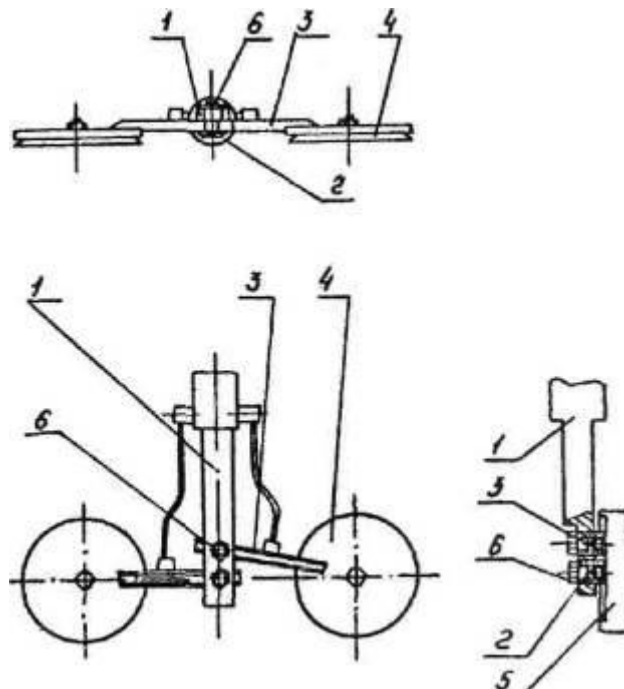


Рисунок 13 – Вакуумное и магнитное ЗУ для плоских деталей

8. Вакуумное и магнитное ЗУ для плоских деталей.

Устройство (рис. 13) содержит корпус I, имеющий отверстия, в которых помещены резьбовые втулки 2. В поперечные сверления втулок 2 входят держатели 3, несущие вакуумные присоски 4 или магниты 5. Держатели 3

через втулки 2 прижимаются к плоскости корпуса 1 винтами 6. При этом, передвигая держатели в сверлениях втулок 2 и поворачивая на нужные углы относительно корпуса 1, можно в широких пределах менять относительное положение захватных элементов.

### **Основные формулы для расчёта захватных устройств**

#### **1. Методика построения профиля центрирующих поворотных губок**

1.1. Исходными величинами для построения специального профиля губок являются: максимальный и минимальный диаметры захватываемой поверхности -  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ; положение осей губки (точка А) и объекта (точка О), а также угол при вершине призмы -  $2\beta$ . (см. рис. 14)

1.2. Положение осей губки, объекта и угол призмы выбирается конструктивно.

1.3. По выбранным величинам угла  $\beta$  и положения оси ОА, строим прямоугольный треугольник АОВ, точка В - вершина прямого угла является, центром одного из радиусов профиля губок.

1.4. Относительно гипотенузы треугольника АОВ строим точку С симметричную точке В.

1.5. Выбранный центр оси объекта или изделия соответствует среднему размеру диапазона захватываемых объектов.

1.6. Из точки О проводим окружность радиуса

$$\rho = \frac{D}{2} = \frac{D_{max} + D_{min}}{4} \quad (1)$$

1.7. Из точек С и В строим профиль губок радиусами  $r_1$  и  $r_2$

#### **Расчет погрешности центрирования для данного профиля губок**

Теоретически для обеспечения точного центрирования заготовок в губках криволинейной формы необходимо, чтобы криволинейная поверхность губок обеспечивала при изменении радиуса зажимаемой заготовки перемещение ее центра по дуге окружности радиуса  $R=OA$ .

Практически при аппроксимации криволинейной поверхности губок захватов дугами окружности перемещение центра изделия происходит по дуге эллипса.

Задача состоит в том, чтобы найти величину ошибки центрирования центра заготовки, которую вносит принятое допущение.

Каноническое уравнение эллипса:  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (2)$

Тогда  $Y = B\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \quad (3)$

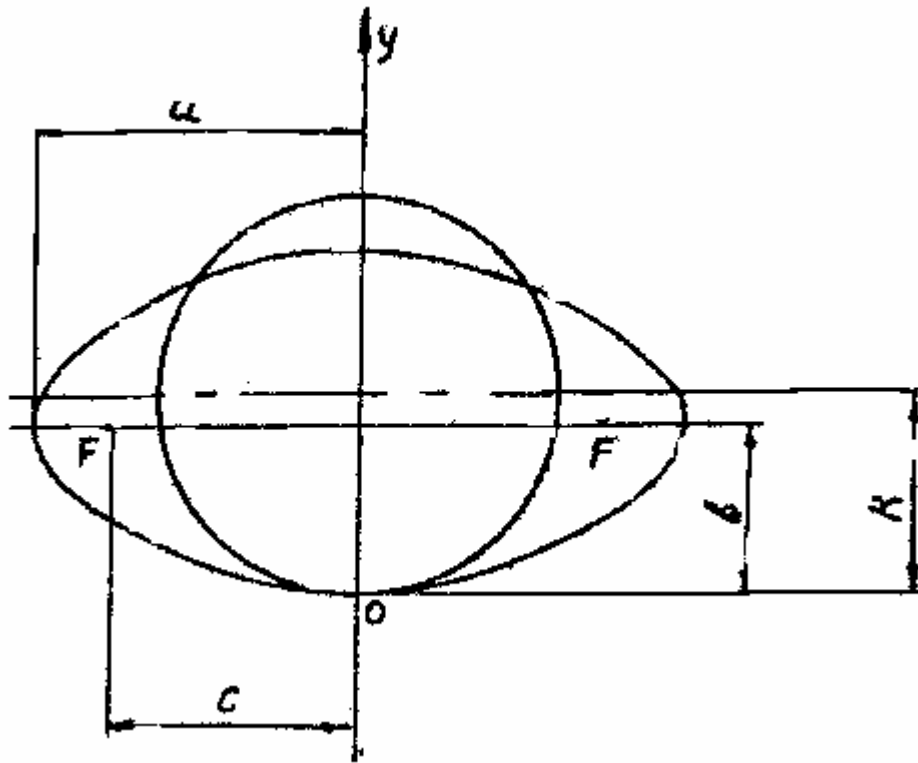
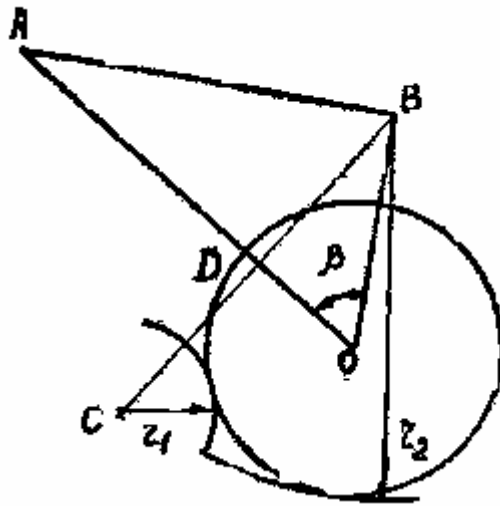


Рисунок 14

Рисунок 15 – Схема центрирования губок

Ось окружности и ось эллипса в направлении «у» не совмещены (в соответствии с рисунком 2). При принятии оси окружности за ось координат уравнение эллипса записывается следующим образом:

$$Y_3 = B \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} - b + R. \quad (4)$$

Разложение этой функции в ряд приводит ее к следующему виду:

$$Y_3 = B \left( 1 - \frac{x^2}{2a^2} + \frac{x^4}{8a^4} - \dots \right) = B + R. \quad (5)$$

Уравнение окружности имеет вид  $x^2 + y^2 = R^2$  или

$$Y_0 = R \sqrt{1 - \frac{x^2}{R^2}}. \quad (6)$$

Разложение этой функции в ряд приводит к виду:

$$Y_0 = R \left( 1 - \frac{x^2}{2R^2} + \frac{x^4}{8R^4} - \dots \right) \quad (7)$$

$$\text{Тогда } \Delta Y = Y_3 - Y_0 = -\frac{Bx^2}{2a^2} + \frac{Bx^4}{8a^4} + \frac{x^2}{2R} - \frac{x^4}{8R^3} + \dots \quad (8)$$

Из схемы построения криволинейного профиля в соответствии с рисунком 1 следует, что малая полуось эллипса  $b = OD$ .

Фокусное расстояние  $BD = CD = c = b \operatorname{tg} \beta$  (из  $\triangle ABD$ )

$$\text{Для эллипса: } a^2 = b^2 + c^2, \quad (9)$$

где  $a$  - большая полуось

$$a^2 = B^2 + B^2 \operatorname{tg}^2 \beta = \frac{B^2}{\cos^2 \beta}. \quad (10)$$

Из свойств эллипса известно, что  $BO + CO = 2a$ , следовательно по построению  $BO = CO$ , то  $BO = CO = a$ .

Рассматривая  $\triangle AOB$ , находим

$$BO = AO \cos \beta = R \cos \beta, \text{ то} \quad (11)$$

$$a = R \cos \beta \quad (12)$$

Тогда

$$R = \frac{B}{\cos^2 \beta}. \quad (13)$$

Таким образом:

$$\Delta Y = -\frac{R \cos^2 \beta \cdot x^2}{2R^2 \cos^2 \beta} + \frac{Rx^4 \cos^2 \beta}{8R^4 \cos^4 \beta} + \frac{x^2}{2R} - \frac{x^4}{8R^3} + \dots = \frac{x^4}{8R^3} \left( \frac{1}{\cos^2 \beta} - 1 \right) = \frac{x^4}{8R^3} \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \quad (14)$$

Располовинивая эту ошибку, можно записать

$$\Delta = \pm \frac{x^4}{16R^3} \cdot \operatorname{tg}^2 \beta. \quad (15)$$

Величина «х» рассматривается здесь как диапазон радиусов зажимаемых захватами заготовок:



$$x = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{2} \quad (16)$$

Следовательно:

$$\Delta = \pm \frac{(\rho_{\max} - \rho_{\min})^4 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta}{256 \cdot R^3} \quad (17)$$

Для ЗУ средних размеров величина  $\Delta$  невелика (составляет сотые доли миллиметра) и ею можно пренебречь.

## 4.2 Расчет нормального удерживающего усилия в зависимости от формы зажимных губок.

1) Нормальные усилия (N) для плоских губок вычисляется по формуле:

$$N = \frac{k \cdot Q}{2 \cdot i \cdot \mu_1} \quad (18)$$

где: Q- вес изделия (заготовки), кг

k- коэффициент запаса  $k=1,5+2,0$ ;

$\mu_1$ - коэффициент сцепления рычага захвата с изделием (заготовкой).

Для незакаленных губок без насечки (сталь 45,50)

$$\mu_1=0,12+0,15$$

Для закаленных губок в виде гребенки с острой насечкой (сталь 65Г, 60С2, У8А, У10А) при твердости  $HRC \geq 55$

$$\mu_1=0,3+0,35$$

i-число захватов.

2) Нормальное усилие для призматических губок (в соответствии с рисунком 3б) в кг вычисляется по формуле:

$$N = \frac{k \cdot Q \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2 \cdot i} \quad (19)$$

где:  $\alpha$ - угол контакта призмы с изделием, град.

3) Нормальные условия для плоско-призматических губок (в соответствии с рисунком 3в) в кг вычисляются по формуле:

$$N = \frac{k \cdot Q}{(\mu_1 + \operatorname{ctg} \alpha) \cdot i} \quad (20)$$

4) Максимальный момент (M) в кг для поворотной центрирующей губки (в соответствии с рисунком 3г) возникающий при положении захвата, при котором вес детали воспринимается одной губкой

$$M = k \cdot Q \cdot R \cdot \frac{1}{i} \quad (21)$$

где  $R$ - расстояние между осью поворотной центрирующей губки и осью захватываемой заготовки, м.

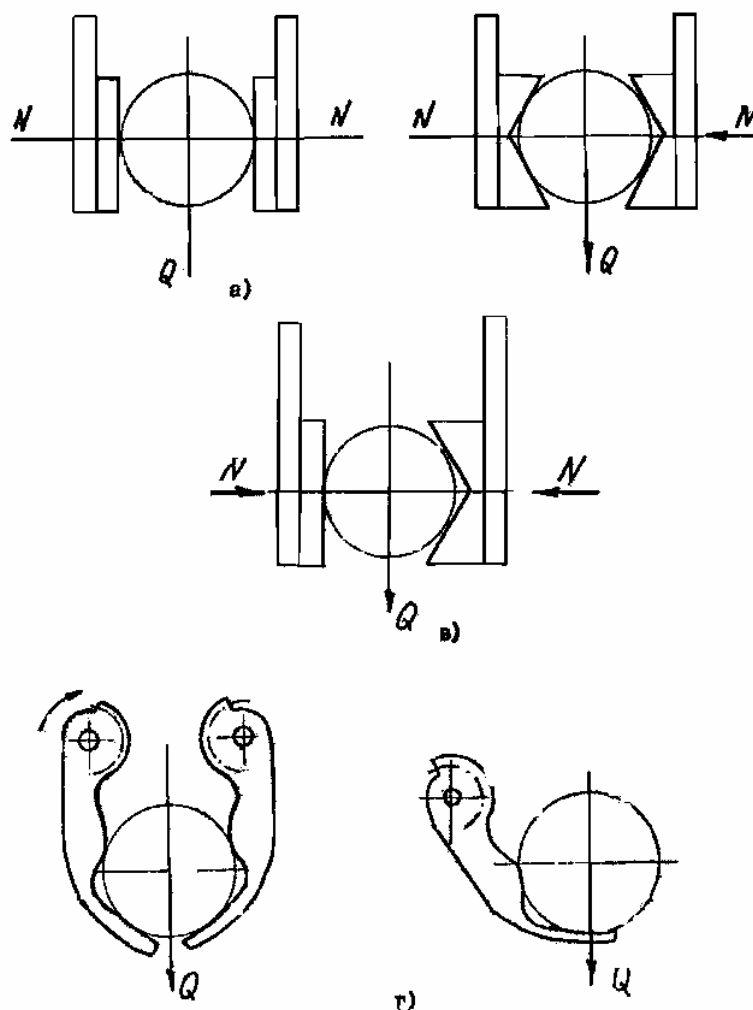


Рисунок 16

При вертикальном расположении оси ЗУ.

$$M = k \cdot Q \cdot \frac{R}{2 \cdot i} \cdot \sin(\beta - \alpha), \quad (22)$$

где:  $\beta$ - угол раскрытия призмы, град.

$\alpha$  - угол контакта губки с заготовкой, град.

#### 4.3 Расчетные формулы усилий привода основных групп захватных устройств

- 1) Расчет усилий привода ЗУ с клиновым механизмом (Рисунок 17)

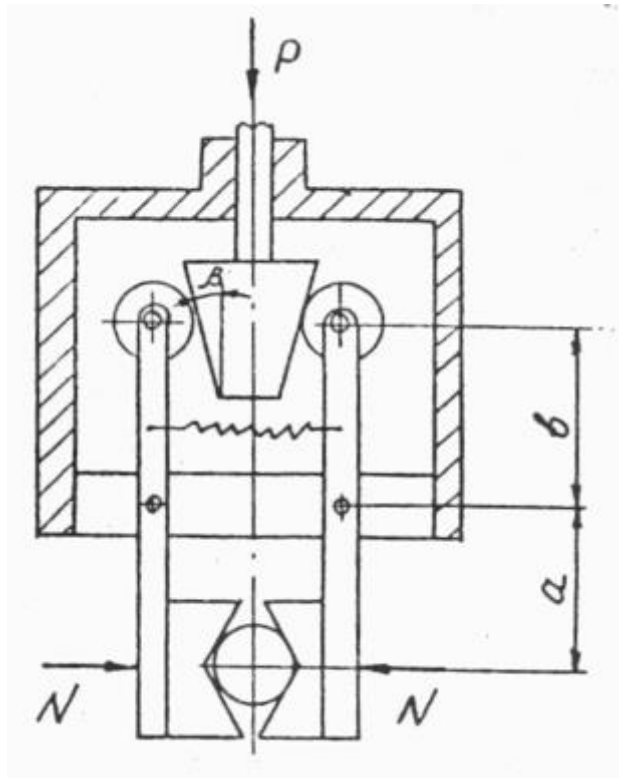


Рисунок 17 – Схема привода ЗУ с клиновым механизмом

Усилие привода ЗУ, действующее на клин (в соответствии с рисунком 17):

$$P = \frac{2 \cdot N \cdot a \cdot \operatorname{tg}(\beta + \rho)}{b \cdot \eta_p}, \quad (23)$$

где: N-нормальное усилие в зависимости от формы губок, определяется формулами раздела 2, кг  
 $\rho$ -приведенный угол трения, учитывающий сопротивление осей рычагов, град.

$\rho = 1^{\circ} 10'$  -при осях на подшипниках качения.

$\rho = 3^{\circ}$  -при осях на подшипниках скольжения.

$\eta_p$ -К.П.Д. шарниров;  $\eta_p = 0,95$ ,

$\beta$ -угол клина,град;  $\beta = 4 \div 8^{\circ}$ ,

a,b-размеры рычагов, м.

2) Расчет усилий привода ЗУ с рычажным механизмом Усилие привода ЗУ, действующее на рычаг (в соответствии с рисунком 18) будет равно:

$$P = \frac{2 \cdot N \cdot l_2}{\operatorname{tg} \alpha \cdot l_1}; \quad (24)$$

где  $\alpha$  - угол рычага, град.

$l_1, l_2$  - плечи рычагов, м.

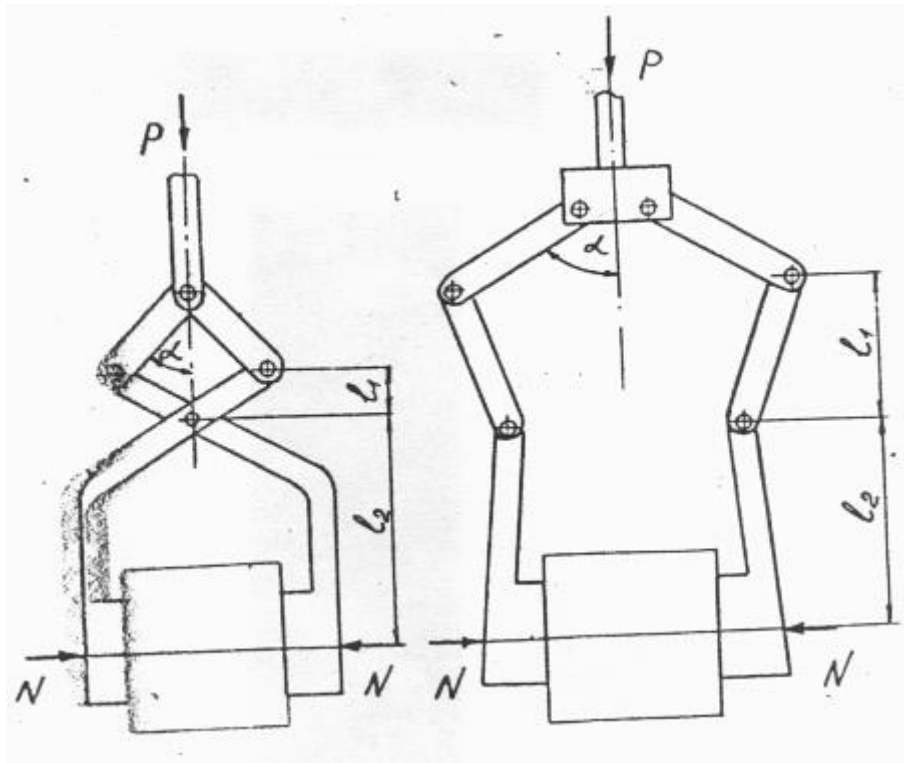


Рисунок 18 – Схема привода ЗУ с рычажным механизмом

3) Расчет усилий привода ЗУ с реечным механизмом

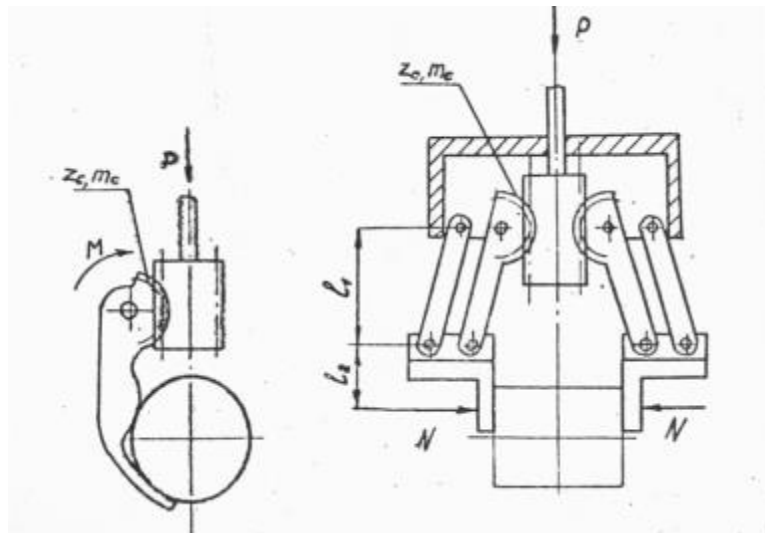


Рисунок 19 – Схема привода ЗУ с реечным механизмом

Усилие на рейке для губок поворотных центрирующих (в соответствии с рисунком 19) будет равно:

$$P=4 \frac{M_1}{m_c \cdot 2_c}, \quad (25)$$

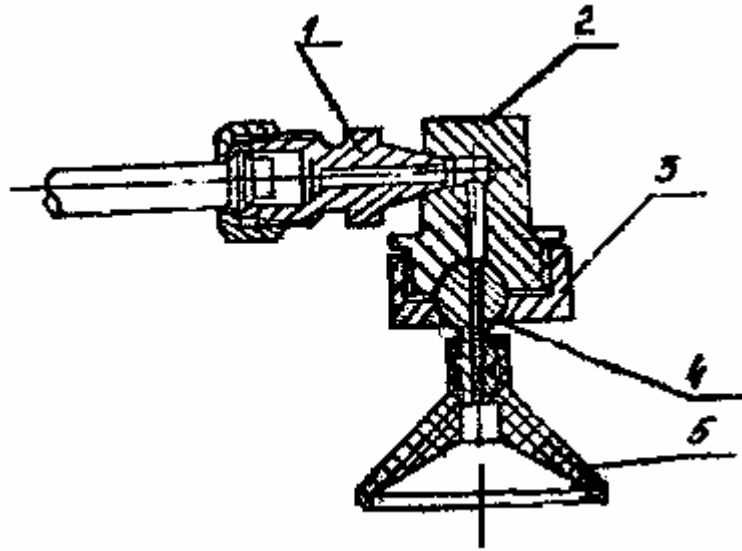
где  $M_1$ -максимальный момент на секторе, кгм, определяемый в разделе 2;

$m_c$  - модуль сектора, м;

$\eta_c$ -полное число зубьев сектора.

Для параллельных губок:  $M_1=N(l_1+l_2)$  (26)

4) Расчет вакуумного захвата



1-штуцер; 2-корпус; 3-гайка;  
4-шарнир со штуцером; 5-присоска.

Рисунок 7 - Схема вакуумного захвата

Требуемая площадь присосов (в соответствии с рисунком 7),  $\text{см}^2$ :

$$F = \frac{k \cdot Q}{P_a - P_B},$$

где  $k$ -коэффициент запаса,  $k=6$ -для верхнего захвата.

$Q$ -вес груза, кг;

$P_a$ -атмосферное давление,  $\text{кг/см}^2$ ;

$P_B$ -разрешение внутри камеры присоса,  $\text{кг/см}^2$ .

#### 4.2 Последовательность выполнения работы

1. Изучить раздел «Методика расчета захватных устройств»
2. Получить у преподавателя индивидуальное задание
3. Расчитать заданное захватное устройство
4. Оформить отчет по работе

#### 5 Вопросы для самостоятельной проверки

1. Порядок построения профиля центрирующих поворотных губок
2. Порядок расчета нормального удерживающего усилия
3. Схемы приводов ЗУ
4. Расчетные усилия приводов ЗУ

## Список литературы

1. Капустин Н.М. Автоматизация машиностроения: Учебник для вузов / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов; Под ред. Н.М. Капустина. - М.: Высш.шк., 2005. - 365 с.
2. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учеб. для вузов. - М.: Академия, 2007. – 364 с.
3. Капустин Н.М. Автоматизация машиностроения: Учебник для вузов / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов; Под ред. Н.М. Капустина. - М.: Высш.шк., 2003. - 223 с.
4. Проектирование автоматизированных участков и цехов: Учеб. для машиностроительных специальностей вузов/[В.П. Вороненко и др.]; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш. шк., 2003. – 272 с.
5. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения: Учеб. для вузов / Баранчукова И.М., Гусев А.А., Крамаренко Ю.Б., Новиков Ю.В. и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высш.шк., 1999. - 416 с.
6. Кобылин А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учебник для вузов / А.М. Кобылин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов, Н.К. Шарипов. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 432 с.
7. Алексеев А.А. Теория управления: Учеб. для вузов / А.А. Алексеев, Д.Х. Имаев, Кузьмин, В.Б. Яковлев. - СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999. - 435 с.
8. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления СПб: Политехника, 1998. - 295 с.
9. Лукас В.А. Теория автоматического управления М.: Недра, 1990. - 416 с.
10. Рогач В.А. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 296 с.
11. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1987. - 712 с.
12. Мячев А.А., Степанов В.Н., Щербо В.К. Интерфейсы систем обработки данных. - М.: Радио и связь, 1989. - 390 с.
13. Коган Б.М., Старшин В.В. Основы проектирования микропроцессорных систем устройств автоматики. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 189 с.
14. Измерения в промышленности: Справочник / Под ред. П. Профоса. - М.: Металлургия, 1990. - Т1; Т2; Т3.
15. Каменев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок М.: Высш.шк., 1990. - 194 с.

16. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / Под ред. А.С.Клюева.- М.: Энергоатомиздат, 1991.- 346 с.
17. Инструментальное обеспечение автоматизированного производства: Учеб. для вузов.- М.: Изд-во «Станкин», 2000.- 204 с.
18. Приборы автоматического управления обработкой на металлорежущих станках / А.В.Высоцкий, И.Б.Карпович, М.П.Соболев, М.И.Этингоф.- М.: Машиностроение, 1995.- 328 с.
19. Ямпольский Л.С., Полищук М.И. Оптимизация технологических процессов в гибких производственных системах. - Киев: Техника, 1988. - 175 с.
20. Основы автоматизации машиностроительного производства: Учеб. для машиностроит. спец.вузов / Е.Р.Ковальчук, М.Г.Косов, В.Г.Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М.Соломенцева.-2-е изд., испр. - М.: Высш.шк., 1999. - 312 с.
21. Основы автоматизации производства: Учеб.для вузов/Е.Р. Ковальчук, М.Г.Косов, В.Г.Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М.Соломенцева. - М.: Машиностроение, 1995.-312с.