

## Практическое занятие 5. Выбор и расчет посадок подшипников качения

**Цель:** получение навыков выбора посадок для подшипников качения и назначения требований к посадочным поверхностям валов и корпусов.

**Задачи:** изучить особенности построения системы допусков подшипников качения; изучить технические требования к посадочным поверхностям валов и отверстия в корпусе; выбрать и рассчитать посадки подшипника на вал и в отверстие корпуса; установить требования геометрической точности посадочных поверхностей вала и отверстия в корпусе, а также шероховатость этих поверхностей; выполнить эскизы фрагмента вала и фрагмента корпуса с указанием размеров, требований точности формы и расположения, шероховатости поверхностей.

### Теоретические сведения.

**Подшипник качения** – подшипник, в котором между поверхностью вращающейся детали и поверхностью опоры расположены тела качения (шарики или ролики). Подшипник обычно состоит из наружного и внутреннего кольца, тел качения и сепаратора (детали, удерживающей тела качения на определенном расстоянии одно от другого). Подшипник качения – это стандартная сборочная единица, изготавливаемая в массовом количестве на подшипниковых заводах. Подшипники встраиваются в более сложные изделия (редукторы, коробки передач и скоростей, шпиндельные узлы станков и др.).

Они обладают полной внешней взаимозаменяемостью по присоединительным размерам:  $D$  – диаметру наружного кольца,  $d$  – диаметру отверстия внутреннего кольца,  $B$  – ширине колец подшипника (при одинаковой ширине наружного и внутреннего колец) и неполной (ограниченной) внутренней взаимозаменяемостью.

Классификация подшипников приведена в таблице 5.1.

В зависимости от соотношения габаритных размеров подшипников определяют их серию: сверхлегкую, особо легкую, легкую, легкую широкую, среднюю, среднюю широкую, тяжелую. Выпускают преимущественно подшипники легкой

и средней серии. Подшипники различных серий отличаются друг от друга размерами, частотой вращения, статической и динамической грузоподъемностью и другими параметрами.

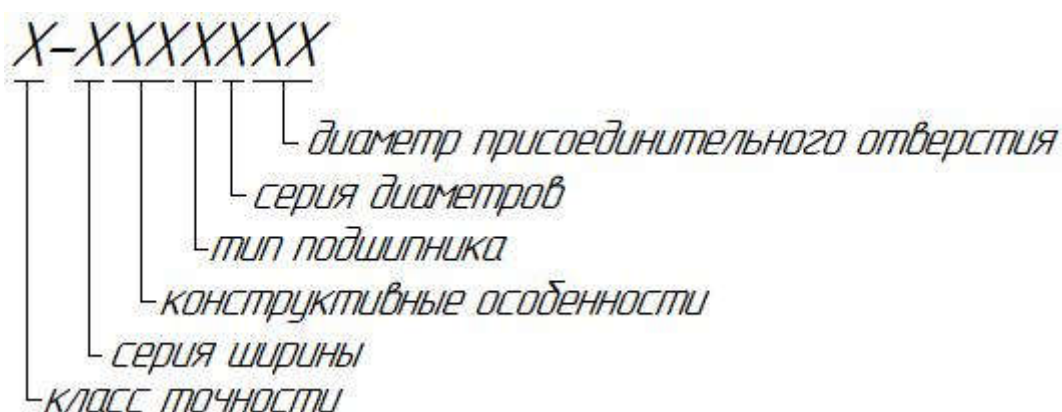
Таблица 5.1 – Классификация подшипников

| Тип подшипника                         | Внешний вид*                                                                          |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| по направлению воспринимаемой нагрузки |                                                                                       |
| радиальные                             |    |
| радиально-упорные                      |    |
| упорные                                |   |
| по форме тел качения                   |                                                                                       |
| шариковые                              |  |
| шариковые сферические                  |  |
| роликовые с цилиндрическими роликами   |  |
| сферические с бочкообразными роликами  |  |

|                                                                                                                                |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| роликовые с коническими роликами                                                                                               |    |
| роликовые с витыми роликами                                                                                                    |    |
| игольчатые                                                                                                                     |    |
| по числу рядов тел качения                                                                                                     |                                                                                       |
| однорядные                                                                                                                     |   |
| двухрядные                                                                                                                     |  |
| многорядные                                                                                                                    |  |
| по наличию уплотнений и защитных шайб                                                                                          |                                                                                       |
| открытые - без уплотнений и без защитных шайб                                                                                  |  |
| закрытые – с одним или двумя уплотнениями, с одной или двумя защитными шайбами или с одним уплотнением и одной защитной шайбой |  |
| *Приведен один из возможных вариантов исполнения                                                                               |                                                                                       |

В условное обозначение подшипника входит много характеристик: внутренний диаметр подшипника, его серия, тип, класс точности, конструктивные особенности. Все перечисленные параметры обозначаются цифрами. Полное обо-

значение включает в себя несколько позиций, в которых закодирована следующая информация.



Например, для подшипника 6-180306:

|                       |               |                    |                                    |                           |
|-----------------------|---------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 6–                    | 18            | 0                  | 3                                  | 06                        |
| <b>Класс точности</b> | <b>Подвид</b> | <b>Тип изделия</b> | <b>Серия по наружному диаметру</b> | <b>Внутренний диаметр</b> |

Тип изделия кодируется цифрой от 0 до 9: радиальный – 0; сферический – 1; радиальный с короткими роликами – 2; радиальный сферический – 3; игольчатый – 4; радиальный с витыми роликами – 5; радиально-упорный – 6; конический – 7; упорный – 8; упорно-радиальный – 9.

Серия подшипника по наружному диаметру: особо легкая – 1; легкая – 2; средняя – 3; тяжелая – 4; легкая широкая – 5; средняя широкая – 6.

Основным геометрическим параметром подшипника является диаметр отверстия, т. е. присоединительный диаметр внутреннего кольца. Размер его для подшипников с диаметром присоединительного отверстия от 20 до 495 мм обозначается числом, которое представляет собой частное от деления диаметра на 5. Например, если диаметр отверстия внутреннего кольца равен 30 мм, то подшипник будет иметь обозначение 06. Для подшипников с диаметрами отверстия от 10 до 17 мм обозначения соответствуют приведенным в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Обозначение диаметра отверстия подшипников

|             |    |    |    |    |
|-------------|----|----|----|----|
| d, мм       | 10 | 12 | 15 | 17 |
| Обозначение | 00 | 01 | 02 | 03 |

Для наиболее часто используемых серий, типов и конструктивных особенностей подшипника в качестве кодовых цифр использованы нули, которые не указывают в условных обозначениях при отсутствии слева других цифр, например,

подшипник 306 ГОСТ 8338 – радиальный однорядный, нормального класса точности, средней серии, с диаметром отверстия 30 мм. В обозначении использованы только три позиции справа, поскольку остальные четыре позиции формально заняты нулями.

Подшипники изготавливают различных классов точности. По ГОСТ 520–2011 [33] в зависимости от используемых тел качения и от направления воспринимаемой нагрузки установлены следующие классы точности:

- нормальный, 6, 5, 4, Т, 2 – для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников;
- нормальный, 6, 5, 4, 2 – для упорных и упорно-радиальных;
- 0, нормальный, 6х, 6, 5, 4, 2 – для роликовых конических подшипников.

Наиболее точными являются классы Т и 2. Требования к размерной и геометрической точности (отклонениям размеров, формы и расположения) и шероховатости поверхностей задаются по классам точности, а именно:

- к точности присоединительных размеров ( $D$ ,  $d$ ,  $B$ ), к отклонениям формы и расположения поверхностей колец и тел вращения, к шероховатости присоединительных поверхностей;
- к радиальному и торцевому (осевому) биению подшипников в сборе или отдельных колец.

Независимо от классов точности для радиальных шарико- и роликоподшипников по ГОСТ 24810–2013 [16] задается радиальный внутренний зазор подшипника  $Gr$  (в дальнейшем будем обозначать буквой  $S$ ), обычно называемый начальным (домонтажным), рисунок 5.1, который определяется как средняя величина нескольких измерений суммарного смещения в плоскости, перпендикулярной к оси подшипника. Радиальные зазоры задаются наибольшим и наименьшим значениями по группам. Предусмотрены следующие группы: 6, нормальная, 7, 8, 9. Самые маленькие радиальные зазоры в 6-й группе, самые большие – в 9-й.

Эти начальные зазоры (рисунок 5.2, а) изменяются в зависимости от деформаций, возникающих при монтаже подшипника (рисунок 5.2, б), и изменения температуры (рисунок 5.3).

Особенностью нормирования точности размеров колец подшипника является задание размерной точности в виде отклонений ( $\Delta_{dmp}$ ) и ( $\Delta_{Dmp}$ ) средних диаметров ( $d_{mp}$ ) отверстия внутреннего кольца и среднего диаметра  $D_{mp}$  наружного кольца в единичной плоскости.

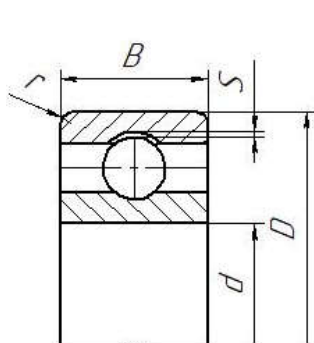
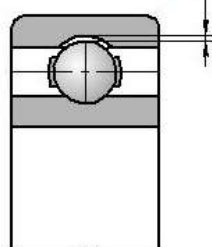


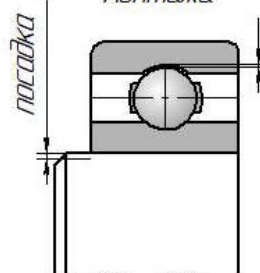
Рисунок 5.1 – Внутренний радиальный зазор  $S$  в подшипнике качения

*Зазор в разmontажном состоянии*



а

*Зазор после монтажа*



б

Рисунок 5.2 – Влияние деформации на изменение зазора:

а – внутренний начальный зазор; б – зазор после посадки с натягом подшипника на вал

Задание размерных допусков на средний диаметр основывается на том, что подшипники качения имеют нежесткие кольца, т. е. кольца меняют форму при посадке на вал или корпус, и отклонения формы в значительной мере компенсируются. Поэтому достаточно учесть их средние диаметры, которые образуются с наибольшей вероятностью при установке на жесткий цилиндрический вал и в отверстие толстостенного корпуса. Требования к геометрической точности, в нашем случае требования к отклонениям формы отверстия (внутреннее кольцо) и вала (наружное кольцо), задаются непостоянством диаметров: для внутреннего кольца – непостоянством диаметра отверстия  $V_{dsp}$  в единичной плоскости, а для наружного кольца – непостоянством наружного диаметра в единичной плоскости  $V_{Dsp}$ . Непостоянство диаметров в единичной плоскости характеризует отклонение формы в выбранном сечении, т. е. отклонение от круглости.

Для того чтобы получить представление о цилиндричности поверхности, вводится характеристика – непостоянство средних диаметров в единичной плоскости  $V_{dmp}$  – для отверстия внутреннего кольца и  $V_{Dmp}$  – для наружного кольца. За отклонение от цилиндричности принимается разница между максимальным и минимальным значениями средних диаметров в единичной плоскости для всех плос-

костей отдельной детали. Требования к точности размера и формы задаются независимо друг от друга, что соответствует принципу независимости. Этот принцип независимости положен в основу нормирования точности размеров по [24-25] и геометрической точности [38-40].

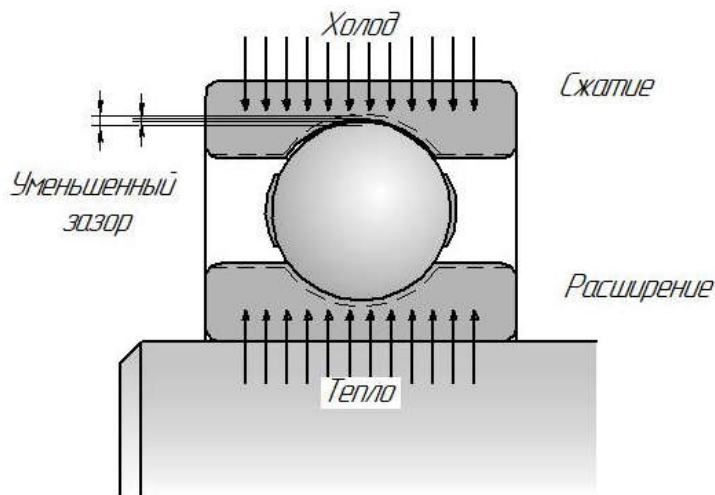


Рисунок 5.3 – Влияние температуры на радиальный зазор

Такие требования к присоединительным диаметрам связаны с тем, что кольца подшипника – нежесткие (податливые) элементы. Они легко деформируются при изготовлении, отклоняясь от формы цилиндрической поверхности, при этом местные размеры могут быть больше или меньше предельных (допустимых) размеров.

### **Особенности системы допусков и посадок для подшипниковых посадок**

Система допусков и посадок для подшипников качения не является самостоятельной системой. Для образования посадок подшипников с ответными деталями (валы и отверстия в корпусе) используются классы допусков, характерные для линейных размеров гладких соединений (цилиндрической формы и с параллельными противоположащими плоскостями), но с учётом особенностей подшипников качения:

— подшипники качения являются массовыми изделиями, изготавливаемыми с требованиями по своим стандартам (ГОСТ 520–2011), и для получения соответствующей посадки надо подгонять к ним ответные детали;

– наружные и внутренние кольца являются тонкостенными деталями, легко подвергающиеся деформациям, возникающим как при изготовлении и сборке, так и при эксплуатации.

И как следствия этих особенностей:

– посадочный диаметр внутреннего кольца выбирается в качестве основного отверстия, но в отличие от основного отверстия для обычных гладких соединений, по ГОСТ 25346-2013, интервал допуска подшипника перевернут по отношению к номинальному диаметру, т. е. верхнее предельное отклонение равно нулю, а нижнее предельное отклонение – минусовое (интервал допуска отверстия внутреннего кольца расположен односторонне от номинала в «воздух», а не в «тело детали», как принято для обычных гладких соединений). Различные по характеру посадки могут получаться использованием классов допусков валов, взятых из ГОСТ 25346–2013 [24] или из ГОСТ 25347–2013 [25] (образованные посадки относятся к системе отверстия);

– посадочный диаметр наружного кольца выбирается в качестве основного вала, т. е. верхнее предельное отклонение равно нулю. Посадки образуются использованием классов допусков отверстий по ГОСТ 25346–2013, т. е. посадки будут образованы в системе вала.

На рисунке 5.4 показано расположение интервалов допусков для средних диаметров наружного  $D_{mp}$  и внутреннего  $d_{mp}$  колец подшипников (средний диаметр принимается за посадочный) различных классов точности: нормальный, 6, 5, 4, 2.

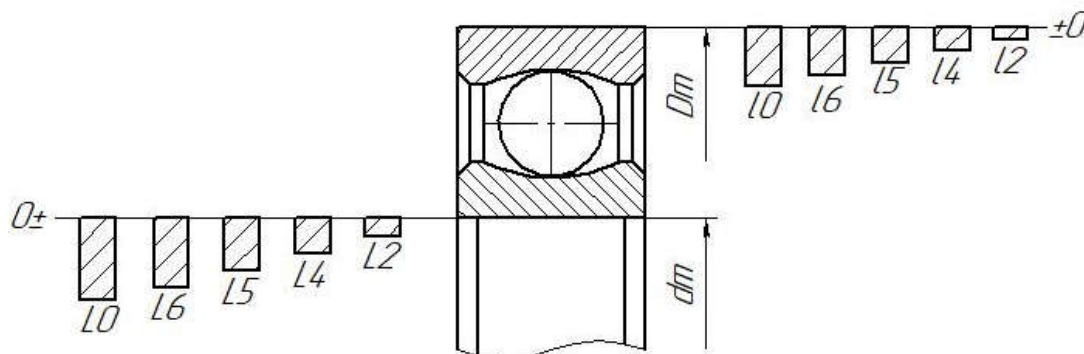


Рисунок 5.4 – Схема расположения интервалов допусков на средние наружный диаметр и внутренний диаметр подшипников по классам точности

Обозначаются классы допусков на посадочные диаметры колец подшипника по классам точности:

- для среднего диаметра внутреннего кольца подшипника –  $L0, L6, L5, L4, L2$ ;
- для среднего диаметра наружного кольца подшипника –  $l0, l6, l5, l4, l2$ .

В обозначении классов допусков на посадочные диаметры колец подшипника:

$L$  – основное отклонение для среднего диаметра внутреннего кольца подшипника;

$l$  – основное отклонение для среднего диаметра наружного кольца подшипника;

0 (нормальный), 6, 5, 4, 2 – класс точности подшипника.

Для подшипников качения характерно использование посадок с зазором, с натягом и переходных. Исходя из условия, что внутренние кольца чаще всего насаживаются на вал с обеспечением неподвижности, т. е. с натягом, мы должны были бы использовать стандартные классы допусков для гладких соединений с основными отклонениями  $s, t$  и так далее, т. е. те классы допусков, которые обеспечивают посадки с гарантированным натягом для обычных гладких соединений. Но эти классы допусков нельзя использовать для подшипников качения, так как натяги получаются очень большими, что неприемлемо для подшипников. А классы допусков переходных посадок с основными отклонениями  $k, m, n$  для подшипников качения обеспечивают гарантированный натяг, причём величина натяга достаточна для обеспечения неподвижности и создания напряжений, не приводящих к большим деформациям (рисунок 5.5).

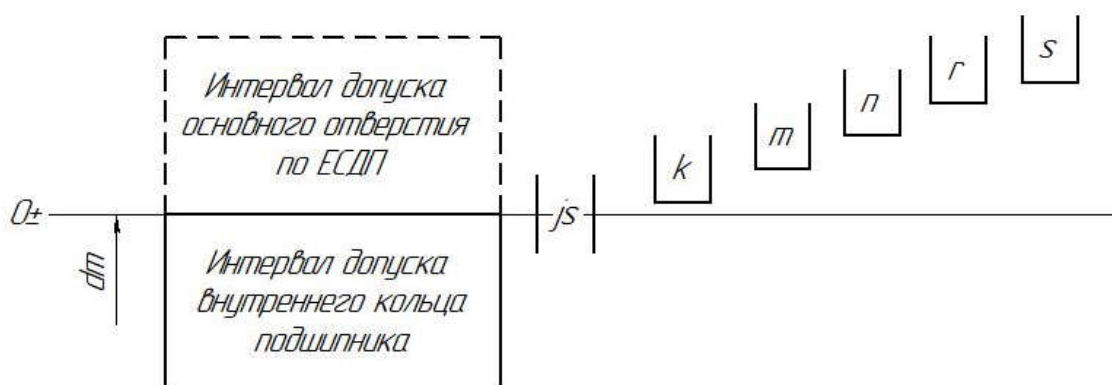


Рисунок 5.5 – Схема расположения некоторых основных отклонений валов и посадочного интервала допуска внутреннего кольца подшипника

Использование стандартных классов допусков по ГОСТ 25346-2013 стало возможным благодаря перевернутому интервалу допуска на средний диаметр внутреннего кольца, как об этом было сказано выше.

Для монтажа на вал и в корпус используют систему посадок, изображенную на рисунке 5.6.

Для образования посадок на вал и в корпус используются классы допусков, представленные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Рекомендуемые классы допусков посадочных поверхностей [31]

| Класс точности подшипника по ГОСТ 520-2011 | Посадочная поверхность                                              |                                                 |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                            | вал                                                                 | отверстие в корпусе                             |
| 0 и 6                                      | e8, e9, f6, f7, f8, f9, g6, h6, h7, js6, j6, k6, m6, n6, p6, r6, r7 | E8, E9, G7, H7, H8, H9, Js7, J7, K7, M7, N7, P7 |
| 5 и 4                                      | g5, h5, js5, j5, k5, m5, n5                                         | G6, H6, Js6, J6, K6, M6, N6, P6                 |
| 2                                          | g4, h4, h3, js3, js4, k4, m4, n4                                    | G4, G5, H4, H5, Js4, Js5, K4, K5, M4, M5, N5    |

Эффективная работа подшипников во многом связана с посадкой, т. е. характером соединения подшипника с корпусом и валом. Посадкой регламентируется положение наружного и внутреннего колец подшипников в радиальном направлении, а также фиксация от проворачивания. От посадки зависит, как изменится домонтажный (начальный) зазор в подшипнике. При наличии недопустимого зазора между посадочными поверхностями подшипника и корпусной детали между ними может возникнуть скольжение, что способствует быстрому износу или повреждению посадочной поверхности. Подшипники должны быть смонтированы таким образом, чтобы температурные изменения не вызывали их защемления или недопустимых зазоров.

Выбор классов допусков поверхностей валов и корпусов, сопряженных с кольцами подшипников, регламентируется ГОСТ 3325–85 «Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки».

На выбор посадок для подшипников качения оказывает влияние следующие факторы:

- вращается или не вращается кольцо подшипника относительно действующей на него радиальной нагрузки или от вида нагружения, величины, направле-

ния и динамики действующих нагрузок;

- перепад температур между валом и корпусом;

- монтажные и контактные деформации колец, влияющие на рабочий зазор в подшипнике;

- материал и состояние посадочных поверхностей вала и корпуса;

- условия монтажа.

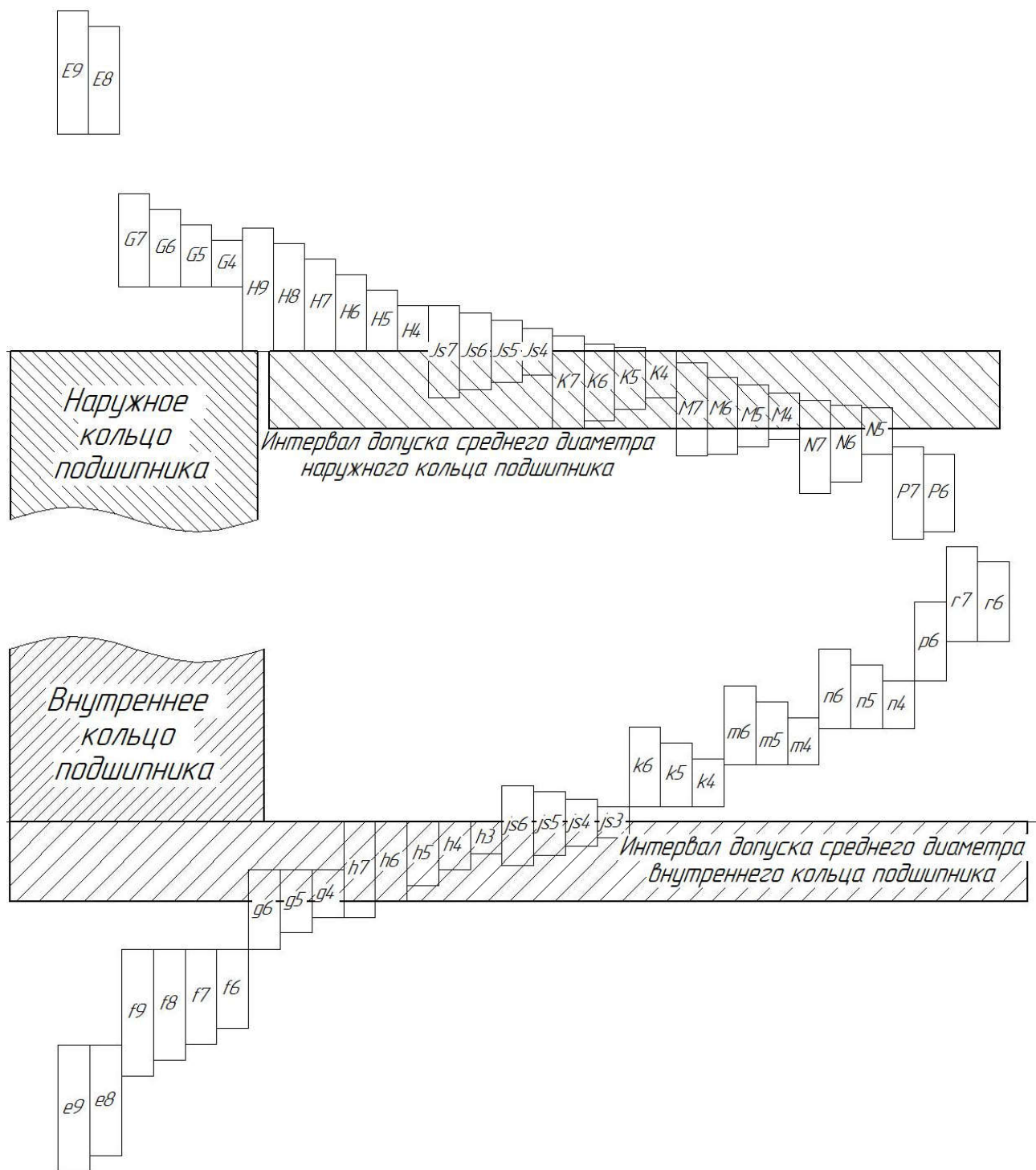


Рисунок 5.6 – Рекомендуемые классы допусков для подшипников качения

При выборе посадок следует учитывать основные виды нагружения: местное, циркуляционное и колебательное.

**Местное нагружение** – это нагружение, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка постоянно воспринимается одним и тем же ограниченным участком дорожки качения этого кольца (в пределах зоны нагружения) и передается соответствующему участку посадочной поверхности вала или корпуса [31].

Местное нагружение возникает в случае, когда кольцо подшипника не вращается относительно действующей на него нагрузки или кольцо и нагрузка участвуют в совместном вращении (рисунок 5.7), например, наружные кольца подшипников опор валов в редукторе или внутренние кольца опор конвейеров.

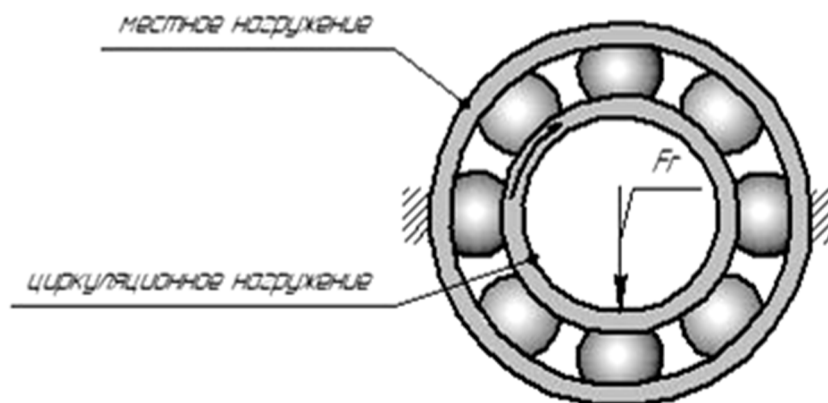


Рисунок 5.7 – Местный вид нагружения

Основная опасность для кольца, которое испытывает местное нагружение, - износ дорожки качения в месте действия нагрузки. Для кольца подшипника, которое испытывает местное нагружение, должна быть назначена **посадка с зазором или переходная посадка с большей вероятностью получения зазора**. Если кольцо не зафиксировано в осевом направлении, то под действием вибраций кольцо постепенно будет проворачиваться по посадочной поверхности, а значит, и износ дорожки качения будет более равномерным по всей окружности кольца.

Необходимость зазора обусловлена обеспечением регулировки осевого натяга или зазора подшипников, а также для компенсации температурных расширений валов и корпусов.

**Циркуляционное нагружение** – это нагружение, при котором действующая на подшипник результирующая радиальная нагрузка воспринимается и передается телами качения в процессе вращения дорожке качения последовательно по всей ее длине, а следовательно, и всей посадочной поверхности вала или корпуса [31].

Циркуляционное нагружение возникает, когда кольцо вращается относительно постоянной по направлению радиальной нагрузки, а также в случае, когда нагрузка вращается относительно неподвижного или подвижного кольца (рисунок 5.8). Для кольца, которое испытывает циркуляционное нагружение, назначают **посадку с натягом или переходную с большей вероятностью получения натяга**. Посадка с натягом необходима для исключения проворачивания кольца по посадочной поверхности.

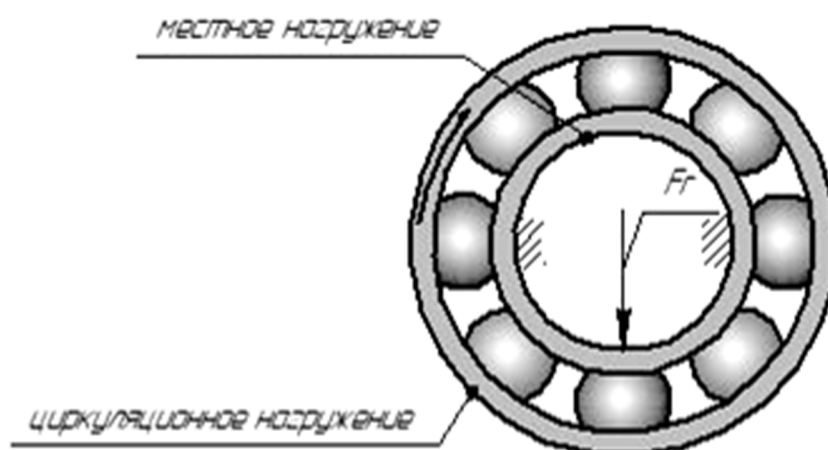


Рисунок 5.8 – Циркуляционный вид нагружения

**Колебательное нагружение** – это нагружение, при котором неподвижное кольцо подшипника подвергается одновременному воздействию радиальных нагрузок: постоянной по направлению радиальной нагрузки  $\vec{F}_r$  и вращающейся нагрузки  $\vec{F}_c$ , меньшей или равной по величине  $\vec{F}_r$ . Равнодействующая этих сил совершает периодическое колебательное движение, симметричное относительно направления  $\vec{F}_r$ , причем она периодически воспринимается последовательно через тела качения зоной нагружения кольца и передается соответствующим ограниченными участками посадочной поверхности (рисунок 5.9) [31].

Колебательное нагружение возникает на неподвижном наружном кольце в случае, когда на него воздействует через вал постоянная нагрузка  $\vec{F}_r$ , а внутреннее кольцо вращается совместно с приложенной к нему нагрузкой  $\vec{F}_c$ , возникающей от дисбаланса.

Для **неподвижного кольца**, испытывающего колебательный вид нагружения, рекомендуются посадки **с небольшим зазором**. Для **вращающихся колец** подшипников при колебательной нагрузке применяют **посадки с натягом**, так же как и при действии циркуляционной нагрузки.

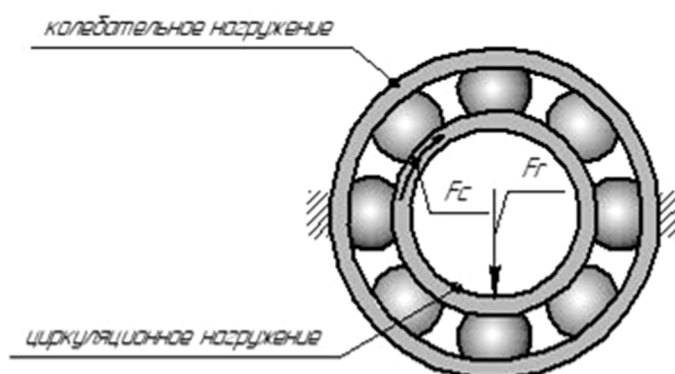


Рисунок 5.9 – Колебательный вид нагружения

Виды нагружения колец подшипников качения при радиальных нагрузках в зависимости от условий работы приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Виды нагружения колец [31]

| Условия работы                                                          |                                                                         | Вид нагружения     |                  |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|
| Характеристика нагрузок                                                 | Вращающееся кольцо                                                      | внутреннего кольца | наружного кольца |
| Постоянная по направлению                                               | Внутреннее                                                              | циркуляционное     | местное          |
|                                                                         | Наружное                                                                | местное            | циркуляционное   |
| Постоянная по направлению и вращающаяся, меньшая постоянной по значению | Внутреннее                                                              | циркуляционное     | колебательное    |
|                                                                         | Наружное                                                                | колебательное      | циркуляционное   |
| Постоянная по направлению и вращающаяся, большая постоянной по значению | Внутреннее                                                              | местное            | циркуляционное   |
|                                                                         | Наружное                                                                | циркуляционное     | местное          |
| Постоянная по направлению                                               | Внутреннее или наружное кольцо в одном или противоположном направлениях | циркуляционное     | циркуляционное   |
| Вращающаяся с внутренним кольцом                                        |                                                                         | местное            | циркуляционное   |
| Вращающаяся в наружном кольцом                                          |                                                                         | циркуляционное     | местное          |

На чертежах посадки подшипников качения обозначаются, *например*:

- подшипник класса точности 0 на вал с номинальным диаметром  $d = 50$  мм, с симметричным расположением класса допуска вала  $js6$  ГОСТ 25347 – 2013:

$$\varnothing 50 \frac{L0}{js6};$$

- то же подшипник в отверстие корпуса с номинальным диаметром 90 мм, с классом допуска H7:

$$\varnothing 90 \frac{H7}{l0}.$$

*Допускается* на сборочных чертежах подшипниковых узлов *указывать* размер, класс допуска или предельные отклонения на *диаметр, сопряженный с подшипником*, например, для вала  $\varnothing 50js6$  и для отверстия в корпусе  $\varnothing 90H7$ .

### **Расчет и выбор посадок для подшипников качения**

Выбор посадок для подшипников качения может быть осуществлен по аналогии или расчетным путем. Выбор посадок по аналогии с существующими подшипниковыми узлами, работающими в схожих условиях, является наиболее распространенным.

Рассмотрим расчетный метод выбора посадок качения.

Последовательность расчета и выбора посадок следующая.

По номеру подшипника установить тип и его техническую характеристику по ГОСТ 8338–75 или по приложению 9, которая содержит размеры подшипника (диаметры, ширину, радиус закругления, грузоподъемность).

Определить вид нагружения (местное, циркуляционное, колебательное) для наружного и внутреннего кольца подшипника (таблица 5.4).

По характеру нагрузки подшипника в зависимости от вращения вала или корпуса определить интенсивность радиальной нагрузки на посадочной поверхности циркуляционно-нагруженного кольца по формуле [45]

$$P_R = \frac{F_r}{b} K_1 K_2 K_3, \quad (5.1)$$

где  $F_r$  – радиальная нагрузка на опору, кН;  $b$  – рабочая ширина посадочного места, м ( $b = B - 2r$ , где  $B$  – ширина подшипника;  $r$  – радиус округления кромок подшипника);  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  – динамические коэффициенты посадки, учитывающие условия работы подшипника.

Динамический коэффициент посадки  $K_1$  зависит от характера нагрузки: при перегрузке до 150 %, умеренных толчках и вибрации  $K_1 = 1$ ; при перегрузках до 300 %, сильных ударах и вибрации  $K_1 = 1,8$ . Коэффициент  $K_2$  (таблица 5.5) учитывает степень ослабления посадочного натяга при полом вале или тонкостенном корпусе (при сплошном вале  $K_2 = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  учитывает неравномерность распределения радиальной нагрузки  $F_r$  между рядами роликов в двухрядных конических роликоподшипниках или между сдвоенными шарикоподшипниками при наличии осевой нагрузки  $F_d$  на опору (для радиальных и радиально-упорных подшипников с одним наружным или внутренним кольцом  $K_3 = 1$ ).

Таблица 5.5 – Значение коэффициента  $K_2$  [44, 45]

| $\frac{d_{отв}}{d}$ или $\frac{D}{D_{корп}}$ |     | Значение коэффициента $K_2$ |                               |                        |                      |
|----------------------------------------------|-----|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|
|                                              |     | для вала                    |                               | для корпуса            |                      |
| св.                                          | до  | $\frac{D}{d} < 1,5$         | $1,5 \leq \frac{D}{d} \leq 2$ | $\frac{D}{d} \geq 2-3$ | для всех подшипников |
| –                                            | 0,4 | 1                           | 1                             | 1                      | 1                    |
| 0,4                                          | 0,7 | 1,2                         | 1,4                           | 1,6                    | 1                    |
| 0,7                                          | 0,8 | 1,5                         | 1,7                           | 2                      | 1,4                  |
| 0,8                                          | –   | 2                           | 2,3                           | 3                      | 1,8                  |

Таблица 5.6 – Значение коэффициента  $K_3$  [44, 45]

| $\frac{F_d}{F_r} \operatorname{ctg} \beta$                                                                                  | До 0,2 | 0,2 – 0,4 | 0,4 – 0,6 | 0,6 – 1 | Свыше 1 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|---------|---------|
| $K_3$                                                                                                                       | 1      | 1,2       | 1,4       | 1,6     | 2       |
| Примечание: $\beta$ – угол контакта тел качения с дорожкой качения нагруженного кольца, зависящий от конструкции подшипника |        |           |           |         |         |

В посадках подшипников классов «нормальный» и 6 применяют классы допусков 7-го квалитета для отверстий корпусов и 6-го квалитета – для валов. Посадки подшипников 5 и 4 классов точности осуществляют точнее, чем для «нормального» и 6 классов точности, на один квалитет.

По величине  $P_R$  из таблицы 5.7 выбрать посадку с натягом для циркуляционно-нагруженного кольца.

Таблица 5.7 – Допускаемые интенсивности нагрузок на посадочные поверхности (для циркуляционно-нагруженного кольца) [44, 45]

| Диаметр, мм                                                  | Допустимое значение $P_R$ , кН/м |             |             |             |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Для посадок отверстия внутреннего кольца подшипника          | $js5, js6$                       | $k5, k6$    | $m5, m6$    | $n5, n6$    |
| св. 18 до 80                                                 | до 300                           | 300 – 1400  | 1400 – 1600 | 1600 – 3000 |
| 80 – 180                                                     | до 600                           | 600 – 2000  | 2000 – 2500 | 2500 – 4000 |
| 180 – 360                                                    | до 700                           | 700 – 3000  | 3000 – 3500 | 3500 – 6000 |
| 360 – 630                                                    | до 900                           | 900 – 3500  | 3500 – 4500 | 4500 – 8000 |
| Для посадок наружной поверхности наружного кольца подшипника | $K6, K7$                         | $M6, M7$    | $N6, N7$    | $P7$        |
| Св. 50 до 180                                                | до 800                           | 800 – 1000  | 1000 – 1300 | 1300 – 2500 |
| 180 – 360                                                    | до 1000                          | 1000 – 1500 | 1500 – 2000 | 2000 – 3300 |
| 360 – 630                                                    | до 1200                          | 1200 – 2000 | 2000 – 2600 | 2600 – 4000 |
| 630 – 1600                                                   | до 1600                          | 1600 – 2500 | 2500 – 3500 | 3500 – 5500 |

Для местно-нагруженного кольца по таблицам П8.1 и П8.2 выбрать посадку из рекомендуемых.

По классу точности подшипника (ГОСТ 520–2011) установить предельные отклонения для внутреннего и наружного колец подшипника (таблица П10.1, таблица П10.2). Рассчитать предельные размеры внутреннего и наружного колец подшипника:

$$d_{m \max} = d_m + ES ,$$

$$d_{m \min} = d_m + EI ,$$

$$D_{m \max} = D_m + es ,$$

$$D_{m \min} = D_m + ei .$$

В соответствии с выбранными классами допусков по ГОСТ 25347-2013 или приложению 2 установить предельные отклонения на диаметр шейки вала и на диаметр отверстия в корпусе. Рассчитать предельные размеры посадочных поверхностей.

По установленным отклонениям вычертить две схемы расположения интервалов допусков посадок: на вал и в корпус. Указать на схемах наименьшие и наибольшие значения зазоров и натягов.

По таблице приложения 11 или по ГОСТ 24810-2013 [16] установить максимальное и минимальное значения радиального зазора для подшипника нор-

мальной группы внутреннего зазора и определить среднее значение начального зазора:

$$S_1 = S_{cp} = \frac{S_{min} + S_{max}}{2}, \text{ мкм.}$$

Значение приведенного среднего диаметра беговых дорожек циркуляционно-нагруженного кольца подшипника:

$$\text{для внутреннего кольца: } d_0 = d + \frac{D - d}{4};$$

$$\text{для наружного кольца: } D_0 = D + \frac{D - d}{4},$$

где  $d_0$  – приведенный диаметр внутреннего кольца, мм;  $D_0$  – приведенный диаметр наружного кольца, мм;  $d$  – диаметр отверстия внутреннего кольца, мм;  $D$  – диаметр наружного кольца, мм.

Определить величину диаметральной деформации беговой дорожки (**только для циркуляционно-нагруженного кольца**) после посадки его на сопрягаемую деталь с натягом.

При посадке внутреннего кольца на вал:

$$\Delta d_1^{max} = N_3 \cdot \frac{d}{d_0}, \text{ мкм.}$$

При посадке наружного кольца в корпус:

$$\Delta D_1^{max} = N_3 \cdot \frac{D_0}{D}, \text{ мкм,}$$

где  $N_3$  – эффективный натяг, мкм ( $N_3 = 0,85 N_{max}$ ).

По величине диаметральной деформации циркуляционно-нагруженного кольца определить посадочный зазор  $S_2$  подшипника после посадки его на вал или в корпус:

$$S_2 = S_1 - \Delta d_1^{max}, \text{ мкм,}$$

$$S_2 = S_1 - \Delta D_1^{max}, \text{ мкм.}$$

В случае отсутствия посадочного зазора и образования натяга необходимо заменить подшипник нормального ряда на подшипник дополнительного 7-го или 8-го ряда с увеличенным начальным зазором.

В случае, если посадочный зазор  $S_2 > 50$  мкм, следует выбрать подшипник по 6-му ряду, у которого начальный зазор меньше.

Проставить выбранные подшипниковые посадки на сборочную единицу.

Вычертить фрагменты вала и корпуса с указанием требований к точности размера, формы, расположения и шероховатости сопрягаемых с подшипником поверхностей.

При назначении требований к геометрической точности посадочных поверхностей вала и корпуса можно воспользоваться таблицами приложения 5.

### **Задания для самостоятельного выполнения**

Установить характер нагружения колец подшипника качения, подобрать класс допуска для установки подшипника на вал и в отверстие корпуса. Установить требования к точности формы, расположения и шероховатости посадочных поверхностей.

Построить схемы расположения интервалов допусков для посадок внутреннее кольцо подшипника – вал и наружное кольцо подшипника – отверстие в корпусе.

Определить предельные размеры посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса, колец подшипника. Рассчитать зазоры и натяги в соединениях. Определить посадочный зазор после установки подшипника на вал или в корпус.

Выполнить эскиз подшипникового соединения с указанием размеров, эскизы шейки вала и корпуса с указанием размеров, требований к форме, расположению и шероховатости посадочных поверхностей.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.8.

На усмотрение преподавателя исходные данные могут быть изменены.

### **Пример.**

Подобрать классы допусков посадочных поверхностей вала и отверстия в корпусе для установки подшипника номер 308, нормального класса точности. Нагрузка радиальная постоянная по направлению  $F_r = 10$  кН. Вращается вал. Вал сплошной. Корпус разъемный. Перегрузка до 300 %.

Определить:

- по номеру подшипника его размеры;
- вид нагружения колец подшипника;
- интенсивность радиальной нагрузки;
- класс допуска посадочных поверхностей вала и отверстия в корпусе;
- предельные размеры колец подшипника и посадочных поверхностей вала и отверстия в корпусе;
- зазоры и натяги в соединениях внутреннее кольцо подшипника - вал, наружное кольца подшипника – отверстие в корпусе;
- максимальное и минимальное значение радиального зазора, среднее значение начального зазора, посадочный зазор.

Изобразить схемы расположения интервалов допусков для соединений внутреннее кольцо подшипника - вал, наружное кольца подшипника – отверстие в корпусе.

Вычертить фрагменты вала и корпуса с указанием требований к точности размера, формы, расположения и шероховатости сопрягаемых с подшипником поверхностей.

*Решение.*

1. По номеру подшипника по приложению 9 определяем его размеры:

$d = 40$  мм – диаметр внутреннего кольца подшипника;

$D = 90$  мм – диаметр наружного кольца подшипника;

$B = 23$  мм – ширина подшипника;

$r = 2,5$  мм – радиус закругления фаски.

2. По таблице 5.4 определяем вид нагружения колец подшипника: внутреннее кольцо испытывает циркуляционное нагружение, наружное кольцо – местное нагружение.

3. Определяем интенсивность радиальной нагрузки на посадочной поверхности циркуляционно-нагруженного кольца по формуле (5.1):

$$P_R = \frac{10}{0,023 - 2 \cdot 0,0025} \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1 = 1000 \text{ кН/м}$$

В данном случае:  $K_1 = 1,8$ , так как перегрузка до 300 %;  $K_2 = 1$  – вал сплошной;  $K_3 = 1$  для радиального подшипника.

4. По величине  $P_R$  из таблицы 5.7 выбираем класс допуска для посадочной поверхности подшипника с циркуляционным нагружением: класс допуска посадочной поверхности вала k6, т. к. подшипник нормального класса точности и  $P_R = 1000$  кН/м.

Таблица 5.8 – Исходные данные к практической работе

| Предпоследняя цифра номера варианта | Класс точности и условное обозначение подшипника | Радиальная нагрузка постоянная по величине, кН | Радиальная нагрузка вращающаяся, кН | Последняя цифра номера варианта | Характер нагрузки                    | Вращающееся кольцо | Конструктивные особенности                             |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
| 1                                   | 204                                              | 1,0                                            | 0                                   | 1                               | Нагрузка умеренная с малой вибрацией | Внутреннее         | Корпус разъемный, вал сплошной                         |
| 2                                   | 6-212                                            | 0,8                                            | 0                                   | 2                               | Нагрузка умеренная с малой вибрацией | Наружное           | Корпус разъемный, $d_{отв}/d = 0,25$                   |
| 3                                   | 5-216                                            | 1,2                                            | 0                                   | 3                               | Нагрузка умеренная с малой вибрацией | Внутреннее         | Корпус разъемный, вал сплошной                         |
| 4                                   | 313                                              | 4,0                                            | 2                                   | 4                               | Нагрузка с ударами и вибрацией       | Наружное           | Корпус неразъемный, вал сплошной                       |
| 5                                   | 4-409                                            | 5,2                                            | 0                                   | 5                               | Перегрузка до 150 %                  | Наружное           | Корпус разъемный, $d_{отв}/d = 0,5$                    |
| 6                                   | 6-208                                            | 6,0                                            | 0                                   | 6                               | Перегрузка до 150 %                  | Внутреннее         | Корпус неразъемный, $D/D_{корп} = 0,8$ , вал сплошной  |
| 7                                   | 5-318                                            | 10                                             | 0                                   | 7                               | Перегрузка до 300 %                  | Внутреннее         | Корпус неразъемный, $D/D_{корп} = 0,85$ , вал сплошной |
| 8                                   | 202                                              | 2,0                                            | 0,5                                 | 8                               | Нагрузка умеренная с малой вибрацией | Наружное           | Корпус разъемный, вал сплошной                         |
| 9                                   | 413                                              | 16                                             | 0                                   | 9                               | Перегрузка до 300 %                  | Внутреннее         | Корпус неразъемный, $D/D_{корп} = 0,5$ , вал сплошной  |
| 0                                   | 4-310                                            | 1,0                                            | 0                                   | 0                               | Спокойная работа без перегрузок      | Внутреннее         | Корпус неразъемный, вал сплошной                       |

По таблице П8.2 определяем класс допуска посадочной поверхности отверстия в корпусе – Js7.

5. Определяем предельные отклонения класса допуска внутреннего кольца подшипника L0, предельные отклонения размера кольца при  $d_m = 40$  мм (таблица П10.1) и предельные размеры

$$ES = 0, EI = -12 \text{ мкм}$$

$$d_{m\max} = 40 \text{ мм}, d_{m\min} = 39,988 \text{ мм},$$

$$Td_m = 12 \text{ мкм} = 0,012 \text{ мм}.$$

Определяем предельные отклонения класса допуска наружного кольца подшипника l0, предельные отклонения размера кольца при  $D_m = 90$  мм (таблица П10.2) и предельные размеры

$$es = 0, ei = -15 \text{ мкм}$$

$$D_{m\max} = 90 \text{ мм}, D_{m\min} = 89,985 \text{ мм},$$

$$TD_m = 15 \text{ мкм} = 0,015 \text{ мм}.$$

6. Определяем предельные отклонения посадочных поверхностей вала и отверстия корпуса и их предельные размеры (приложения 2 и 3).

Вал  $\varnothing 40k6$ :

$$es = +18 \text{ мкм}, ei = +2 \text{ мкм},$$

$$d_{\max} = 40,018 \text{ мм}, d_{\min} = 40,002 \text{ мм},$$

$$Td = 16 \text{ мкм} = 0,016 \text{ мм}.$$

Отверстие  $\varnothing 90Js7$ :

$$ES = +17,5 \text{ мкм}, EI = -17,5 \text{ мкм}$$

$$D_{\max} = 90,0175 \text{ мм}, D_{\min} = 89,9825 \text{ мм},$$

$$TD = 35 \text{ мкм} = 0,035 \text{ мм}.$$

7. Определяем предельные натяги и зазоры в соединениях:

- внутреннее кольцо подшипника – вал  $\varnothing 40 \frac{L0}{k6}$  - посадка в системе отвер-

стия с натягом:

$$N_{\max} = d_{\max} - d_{m\min},$$

$$N_{\max} = 40,018 - 39,988 = 0,030 \text{ мм},$$

$$N_{\min} = d_{\min} - d_{\max},$$

$$N_{\min} = 40,002 - 40 = 0,002 \text{ мм},$$

$$TN = N_{\max} - N_{\min} = 0,028 \text{ мм}.$$

- наружное кольцо подшипника – отверстие корпуса  $\varnothing 90 \frac{Js7}{l0}$  - посадка в системе вала переходная:

$$N_{\max} = D_{\max} - D_{\min},$$

$$N_{\max} = 90 - 89,9825 = 0,0175 \text{ мм},$$

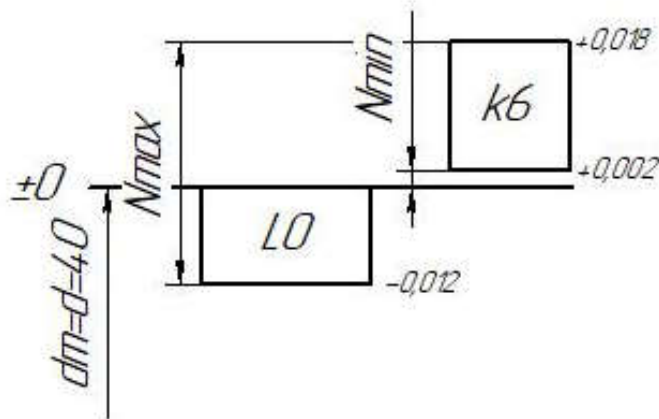
$$S_{\max} = D_{\max} - D_{\min},$$

$$S_{\max} = 90,0175 - 89,985 = 0,0325 \text{ мм},$$

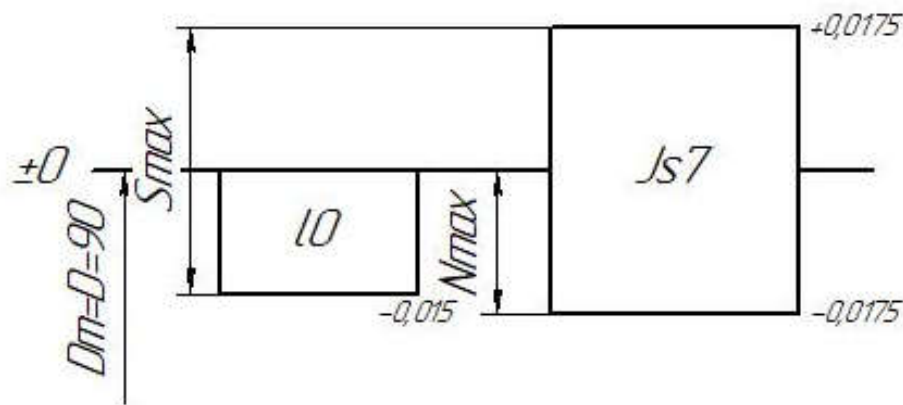
$$T(S, N) = N_{\max} + S_{\max} = 0,060 \text{ мм}.$$

8. Вычертим схемы расположения интервалов допусков.

Соединение внутреннее кольцо подшипника – вал



Соединение наружное кольцо подшипника – отверстие корпуса



9. Определяем максимальное, минимальное значения радиального зазора (приложение 11) для циркуляционно-нагруженного кольца, среднее значение начального зазора.

$$S_{\min} = 6 \text{ мкм}, S_{\max} = 20 \text{ мкм}, S_1 = S_{\text{cp}} = \frac{6 + 20}{2} = 13 \text{ мкм}.$$

10. Приведенный диаметр среднего диаметра беговых дорожек циркуляционно-нагруженного кольца подшипника

$$d_0 = 40 + \frac{90 - 40}{2} = 65 \text{ мм}.$$

Величина диаметральной деформации беговой дорожки для циркуляционно-нагруженного кольца

$$N_{\text{эф}} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ мкм},$$

$$\Delta d_1^{\max} = 25,5 \cdot \frac{40}{65} = 15,7 \text{ мкм}.$$

По величине диаметральной деформации циркуляционно-нагруженного кольца определяем посадочный зазор подшипника после посадки его на вал

$$S_2 = 13 - 15,7 = -2,7 \text{ мкм}.$$

Так как  $S_2 < 0$ , то образуется натяг, а значит необходимо, заменить подшипник нормального ряда, на подшипник дополнительного 7-го ряда с увеличенным начальным зазором. Тогда  $S_{\min} = 15 \text{ мкм}$ ,  $S_{\max} = 33 \text{ мкм}$ ,  $S_1 = S_{\text{cp}} = \frac{15 + 33}{2} = 24 \text{ мкм}$  и  $S_2 = 24 - 15,7 = 8,3 \text{ мкм}$ .

11. Определяем шероховатость посадочных поверхностей по таблице П.5.4:

для вала –  $Ra = 1,25$  мкм,

для отверстия –  $Ra = 2,5$  мкм,

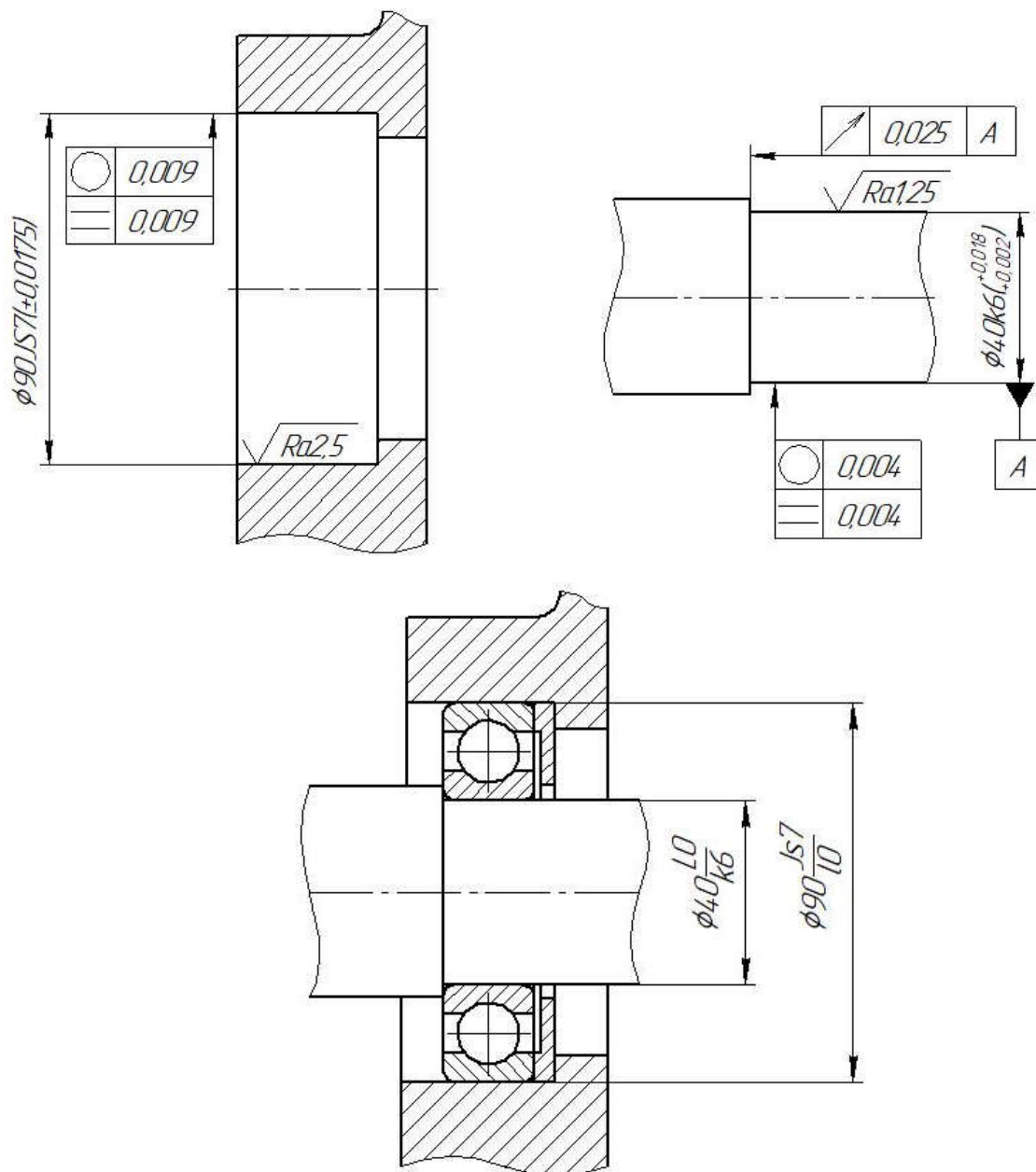
торцы заплечников вала и отверстий корпусов –  $Ra = 2,5$  мкм

12. Допуск круглости и профиля продольного сечения поверхности вала находим по таблице П5.3 – 4 мкм.

Допуск круглости и профиля продольного сечения поверхности отверстия корпуса находим по таблице П5.3 – 9 мкм.

Допуск торцового биения заплечника вала по таблице П5.1 – 25 мкм, заплечника отверстия корпуса по таблице П5.2 – 54 мкм.

13. Строим эскизы.



## **Контрольные вопросы для самоподготовки и защиты практической работы.**

1. Какие классы точности установлены для подшипников качения? Приведите краткую характеристику этих классов.

2. Что такое подшипник качения?

3. Взаимозаменяемость подшипников качения.

4. Основные правила условных обозначений подшипников качения.

Приведите пример.

5. Покажите на эскизе подшипника качения основные размеры, по которым подшипники сопрягаются с валами и корпусами, а также элементы от, от точности которых зависит точность подшипника.

6. Основные особенности системы допусков и посадок для соединения колец подшипников качения: с валами; с отверстиями в корпусе.

7. Как располагается интервал допуска посадочной поверхности внутреннего кольца подшипника? Почему принято такое расположение интервала допуска?

8. Почему к точности формы и шероховатости поверхностей валов и отверстий в корпусах в местах сопряжения с кольцами подшипника качения предъявляют повышенные требования?

9. Правила указания предельных отклонений и посадок по внутренним и наружным кольцам подшипников.

10. Основные факторы, учитываемые при выборе посадок для сопряжения колец подшипников качения с валами и отверстиями в корпусах.

11. Виды нагружения колец подшипников? Как учитывается вид нагружения при выборе посадок?

12. Дайте определение, характеристику и укажите условия возникновения одного из видов нагружения колец подшипников: местного; циркуляционного; колебательного.

13. Какие факторы определяют подвижность и неподвижность колец подшипников качения?

14. Что учитывают и какие посадки назначают для колец подшипников качения испытывающих местное и циркуляционное нагружение?
15. Что учитывают и какие посадки назначают для подвижный и неподвижных колец подшипников качения?
16. Какой радиальный зазор в подшипниках качения называют начальным, посадочным, рабочим?
17. Почему в работающем подшипнике необходим зазор, каким способом обеспечивается радиальный зазор?
18. Как влияет конструкция и материал вала и корпуса на выбор посадок для подшипников качения?
19. Как влияют температурные нагрузки на работу подшипникового узла?