

**Вопросы (и ответы на вопросы повышенной трудности)  
для самоподготовки студентов III курса специальности 160901 к защите курсового  
проекта по дисциплине «Детали машин».**

**1. О редукторах**

Назначение редуктора. Основные кинематические характеристики двухступенчатого редуктора. Передаточное число. Коэффициент полезного действия. Соотношения между частотами вращения валов, между крутящими моментами и между мощностями. Двухступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор, выполненный по развернутой схеме. Достоинства и недостатки. Дайте сравнительную оценку редукторов с прямозубыми и с косозубыми колесами. Перечислите конструктивные мероприятия, направленные на улучшения распределения удельной нагрузки вдоль линии контакта зубьев (уменьшения коэффициента  $K_H \beta$ ) и на уменьшение коэффициента динамической нагрузки  $K_H v$ . Двухступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор с раздвоенной быстроходной ступенью. Достоинства и недостатки. Почему в таком редукторе быстроходной ступень всегда выполняют косозубой? Почему быстроходный вал редуктора устанавливают на радиальных роликовых подшипниках без буртов на одном из колец? Сравните этот редуктор с редуктором, выполненным по развернутой схеме. Двухступенчатый цилиндрический зубчатый редуктор, выполненный по сосной схеме. Достоинства и недостатки. Почему зубчатые колеса быстроходной ступени имеют существенно меньшую ширину, чем колеса тихоходной ступени? Двухступенчатый коническо-цилиндрический редуктор. Достоинства и недостатки. Особенности конструкций подшипниковых опор быстроходного и промежуточных валов редуктора. Как обеспечивается совпадение вершин делительных конусов конического колеса при сборке редуктора? Почему подшипниковый узел быстроходного вала помещают в индивидуальный стакане? Что представляет собой прокладка под фланцем стакана? Двухступенчатые цилиндро-червячные и червячно-цилиндрические редукторы. Достоинства и недостатки таких редукторов. Особенности конструктивного оформления подшипниковых опор: а) вала червячного колеса, б) вала червяка. Сравните конструкции подшипниковых опор червяка по схеме «враспор» со схемой «фиксированная опора плюс плавающая опора». Сравните конструктивные схемы червячных передач с нижним и верхним положением червяка. Сравните цилиндро-червячный редуктор с червячно-цилиндрическим.

## 2. О цилиндрических зубчатых передачах

Что такое эвольвента? Основные свойства эвольвентного зацепления. Что такое модуль зубчатого колеса? В каких единицах измеряется модуль? Какую окружность в колесе называют делительной? Какая деталь в зацеплении называется шестерней, а какая колесом? Какие формулы Вы знаете для вычисления передаточного числа зубчатой передачи? Можно ли утверждать, что зубья шестерки и колеса перекатываются друг относительно друга без скольжения? Ответ: зубья зубчатых колес перекрываются друг по другу без скольжения только в то мгновение, когда они контактируют в полюсе зацепления. В остальных фазах зубья перекатываются с относительным скольжением, которое сопровождается трением. Что такое коэффициент перекрытия? Может ли коэффициент перекрытия быть меньше единицы? Каким образом можно увеличить коэффициент перекрытия для прямозубой передачи? Для ответа на этот вопрос необходимо вспомнить формулу для определения коэффициента перекрытия:

$\epsilon = 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right)$ , где  $Z_1$  и  $Z_2$  – числа зубьев шестерни и колеса. Почему не рекомендуется изготавливать прямозубые шестерни с числом зубьев менее 17? Можно ли «исправить» форму зуба шестерни с числом зубьев менее 17? Для ответа на этот вопрос в учебнике [1] познакомьтесь с темой

«Влияние корригирования на форму зубьев зубчатого колеса». Какие силы возникают в зацеплении прямозубых колес. Желательно знать формулу хотя бы для окружной силы. Следует уметь изображать эти силы на чертеже редуктора. Причины выхода из строя зубчатой передачи при длительной её работе. Какие напряжения называют контактными? Как они обозначаются? По какой формуле можно определить контактные напряжения для двух сжатых выпуклых поверхностей?

Ответ:  $\delta_n = 0,418 \sqrt{q^* E}$ . Расшифровку параметров формулы необходимо знать. По какому циклу изменяются контактные напряжения в зубчатой передаче? Что происходит с рабочими поверхностями зубьев при длительном действии переменных контактных напряжений? Что такое контактная усталость? Как разрушаются зубья зубчатых колес от переменных контактных напряжений? Где начинается это разрушение: а) на поверхности зуба, б) на поверхности зуба в средней его части, в) на поверхности зуба? Какие параметры (и как) влияют на величину контактных напряжений в зубчатой передаче?

Ответ: величина  $\delta_n$  зависит от: а) величины нормальной силы  $F_{12}$  в зацеплении (при её увеличении  $\delta_n$  растёт), б) длины контактной линии, т.е. длины зуба (при её увеличении  $\delta_n$  уменьшается), в) приведенного радиуса кривизны делительных диаметров шестерни и колеса (который геометрически связан с межосевым расстоянием).

К перечисленным параметрам следует также добавить влияние неравномерности распределения контактных напряжений вдоль зуба, которое учитывается коэффициентами  $K_{H\beta}$ , и влияние дополнительной нагрузки, которое учитывается коэффициентом  $K_{Hv}$ . Перечислите мероприятия, с помощью которых можно повысить контактную прочность зубчатой передачи. Ответ: - для увеличения контактной прочности зубчатой передачи необходимо, возможности уменьшить величину рабочих контактных напряжений. Как это обеспечить – смотрите ответ на предыдущий вопрос. Какой расчет (по каким напряжениям) дает возможность определить величину межсосевого расстояния зубчатой передачи? Влияет ли величина модуля зубчатых колес на контактную прочность зубчатой передачи? Ответ: - нет, не влияет. В расчете  $a_w$  модуль не учитывается, т.к. модуль (т.е. размер зубьев) не определяет величину приведенного радиуса кривизны. Проще говоря: - не размеры зубьев определяют их контактную прочность, а те параметры, которые были перечислены выше. Какое напряжение называется напряжением изгиба в зубе зубчатого колеса (шестерни)? Ответ: - напряжением изгиба условно называют нормальное напряжение  $\delta_F$ , равное разнице между нормальным напряжением растяжением сжатия от силы  $F_t$  и нормальным напряжением сжатия от силы  $F_R$  (смотрите материал лекции). Какие параметры (и как) влияют на величину напряжений изгиба в зубе зубчатого колеса? Ответ: - анализ можно выполнить, формулу для этих напряжений: Параметры входящие в формулу, необходимо знать. Какой расчет (по каким напряжениям) дает возможность определить модуль зубчатой передачи? Почему для силовых передач не рекомендуют применять модуль менее 1,5 мм? Достоинства и недостатки косозубых цилиндрических передач. Какие силы действуют в зацеплении косозубых колес? Почему в косозубых передачах угол наклона зубьев  $\beta$  ограничивают максимальной величиной  $20^\circ$ ? Что такое шевронная передача? Почему в шевронных передачах максимальное значение  $\beta \leq 40^\circ$  существенно превышает аналогичный параметр для обычных косозубых передач? Что такое эквивалентное колесо? Ответ: - это такое прямозубое колесо, для которого контактная и изгибная прочность эквивалентна (равноценна) прочности косозубого колеса. Диаметр такого колеса и число зубьев на нем несколько больше, чем аналогичные параметры косозубого колеса.

### 3. О конических зубчатых передачах

Достоинства и недостатки передачи. Дайте описание и сравнительную характеристику конических передач: прямозубый, косозубой и передачи с круговой формой зуба. Силы в зацеплении конических прямозубых колес. Какой расчет (по каким напряжениям) даёт возможность определить внешний (наибольший) диаметр конического колеса? Какой расчет (по каким напряжениям) даёт возможность определить модуль передачи? Почему для конических передач коэффициент  $K_{H\beta}$  существенно больше чем для цилиндрических передач?

### 4. О материалах и методах термообработки для зубчатых колес цилиндрических и конических передач

Из каких материалов изготавливают зубчатые колеса? Расшифруйте марку стали, из которой планируется изготавливать зубчатые колеса в Вашем редукторе. Какие методы термообработки и поверхностной химической обработки Вы знаете? В чем они заключаются? Зачем применяются? Какая термообработка зубчатых колес запланирована в Вашем редукторе? Что такое твердость материала? Как определяется? В каких единицах измеряется? Какие зубчатые передачи называются прирабатываемыми, а какие – не прирабатываемыми? Если передача прирабатываемая или неприрабатываемая, то на каком расчетном параметре это отражается? Ответ: - для прирабатываемой передачи коэффициенты  $K_{H\beta}$ ,  $K_{H\alpha}$ ,  $K_{F\beta}$  и  $K_{F\alpha}$  имеют существенно меньше значений, чем для неприрабатываемой. Почему для прирабатываемой передачи твердость шестерни рекомендуют назначить несколько больше, чем твердость колеса? Какая механическая характеристика материала определяет контактную прочность зубчатой передачи?

### 5. О допускаемых напряжениях для зубчатых передач

Что представляет собой кривая контактной выносливости? Что такое базовое число циклов? От чего зависит величина базового числа циклов? Ответ: - базовое число циклов зависит от твердости материала и определяется по эмпирическим формулам, или по графикам. Что такое предел контактной выносливости? Как обозначается? От чего зависит величина предела контактной выносливости? Зачем в техническом задании на проект задана ступенчатая диаграмма нагружения редуктора? Какая нагрузка из заданных на диаграмме используется в расчете зубчатой передачи? Ответ: - наибольшая длительно действующая, т.е. такая, которая может вычитывать накопление усталостных повреждений. Почему в расчете на выносливость не используется пусковая (пиковая) нагрузка, показанная на диаграмме нагружения? Ответ: - несмотря на то, что эта нагрузка достаточно велика, в зубчатых колесах не успевают накапливаться усталостные

контактные и изгибные повреждения из-за малой продолжительности её действия. Что такое эквивалентное число циклов? Ответ: - это такое количество циклов, на протяжении которых, зубчатое колесо, находящееся под постоянной (максимальной длительно действующей) нагрузкой, накапливает такие же усталостные повреждения, как и колесо находящееся в реальных условиях нагружения, т.е. под действием заданной ступенчатой нагрузки на протяжении заданного рабочего числа циклов (ресурса). Что такое коэффициент контактной долговечности? Ответ: - коэффициент контактной долговечности определяют по формуле  $K_{HL} = \frac{N_{HE}}{N_{HO}}$  где  $N_{HO}$  - базовое число циклов;  $N_{HE}$  - эквивалентное число циклов. В чем заключается механический смысл коэффициента  $K_{HL}$ ? Ответ: - смысл коэффициента долговечности можно объяснить на следующем примере. Если срок службы передачи в циклах ( $N_{HE}$ ) меньше, чем базовое число циклов на кривой выносливости ( $N_{HO}$ ), то это значит что передачи можно нагрузить напряжениями, которые в  $K_{HL}$  раз превышают предел контактной выносливости. Почему должно быть  $K_{HL} \leq 2,4$ . Ответ: - если принять  $K_{HL} > 2,4$ , то в зубчатой передаче могут появиться напряжения, равные  $2,4 \sigma_{HO}$  но что может привести к появлению остаточных пластических деформаций (вмятин). Такое явление называется бринеллированием. Почему должно выполняться условие  $K_{HL} \geq 1$ ? Ответ: - если срок службы передачи в цикле  $N_{HE}$  больше, чем базовое число циклов  $N_{HO}$ , то формальные вычисления дают  $K_{HL} = \frac{N_{HE}}{N_{HO}}$ . Но применять такое  $K_{HL}$  для дальнейших вычислений не имеет смысла, т.к. при  $K_{HL} < 1$  имеем \_\_\_\_\_, следовательно, передача работает с недогрузкой. Что такое допускаемое контактное напряжение? Как оно обозначается? Как определяется? Ответ: - \_\_\_\_\_, где \_\_\_\_\_ - предел контактной долговечности;  $K_{HL}$  - коэффициент контактной долговечности;  $S_H$  - данное контактной прочности. От чего зависит величина допускаемых контактных напряжений? Ответ: - от величины предела контактной выносливости  $\sigma_{HO}$  (который, в свою очередь, зависит от твердости материала) и от срока службы (который определяет величину коэффициента долговечности  $K_{HL}$ ). Кривая выносливости для напряжений изгиба. Что такое предел выносливости для напряжений изгиба? Как обозначается? Объясните смысл индекса в обозначении  $\sigma_{FO}$ . Что такое коэффициент изгибной долговечности? Ответ: - объяснения смысла этого коэффициента аналогично смыслу коэффициента контактной долговечности, приведенному выше. Что такое допускаемое напряжение изгиба для зубчатых колес? Как обозначается? Как определяется? Ответ: - \_\_\_\_\_, где \_\_\_\_\_ - предел выносливости материала при изгибе,  $K_{FL}$  - коэффициент долговечности при расчете на изгиб,  $S_F$  - коэффициент заноса прочности при изгибе. Почему при одинаковых

материалах шестерни и колеса допускаемые напряжения изгиба для них различны? Ответ: - шестерня и колесо вращаются с различными частотами и поэтому на протяжении работы редуктора набирают различные количества циклов нагружения, что приводит к различным величинам коэффициентов долговечности и, следовательно, - к различным [\_\_\_\_\_].

## 6. О червячных передачах

Геометрические характеристики:  $d_1$ ;  $d_2$ ;  $m$ ;  $Z_1$ ;  $Z_2$ ;  $q$ ;  $a_w$ . Что такое число заходов для червяка? Как обозначается? Как определяется передаточное число для червячной передачи? Какие силы возникают в червячном зацеплении? Надо знать хотя бы формулы для определения окружных сил на червяке и на червячном колесе. Возможна ли в червячном зацеплении передача крутящего момента от червячного колеса к червяку? Ответ: - если передача самотормозящая, то это не возможно. Как можно записать условие самоторможения червячного зацепления? Ответ: -  $\gamma \leq \rho$ , где  $\gamma$  - угол подъема винтовой линии червяка;  $\rho$  - угол трения, который определяется по формуле  $\rho = \arctg f$ , где  $f$  - коэффициент трения. Какие параметры и как влияют на коэффициент полезного действия червячного зацепления? Ответ: - по формуле имеем  $\eta = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \rho)}$ . Как отражается изменение  $\gamma$  на величину КПД? Ответ: - например, при увеличении угла  $\gamma$  увеличивается скорость скольжения в зацеплении ( $V_{ск} = V_{окр} / \cos \gamma$ , где  $V_{окр}$  - окружная скорость на делительном цилиндре червяка), улучшаются условия смазки, уменьшается  $f$ , уменьшается  $\rho$ , КПД увеличивается. Из каких материалов изготавливают червяка? Зачем поверхности витков червяка закаливают, шлифуют и полируют? Из каких материалов изготавливают венцы червячных колес? От чего зависит выбор материала червячного колеса? По каким причинам выходят из строя червячные передачи? Чем отличаются механизм контактного разрушения червячной передачи от механизма контактного разрушения цилиндрической зубчатой передачи? Какой расчет (по каким напряжениям) дает возможность определить межсосевое расстояние червячной передачи? Почему для червячных передач коэффициенты  $K_{H\beta}$  и  $K_{H\alpha}$  существенно меньше, чем для цилиндрических зубчатых передач? Какой расчет (по каким напряжениям) дает возможность определить формы зуба  $Y_F \sim 1,7$  заметно меньше, чем коэффициент формы зуба для цилиндрической зубчатой передачи  $Y_F \sim 3,6$ ? Ответ: - по формуле для напряжений изгиба имеем  $\sigma_F = F_t / m \cdot b \cdot Y_F$ . Зуб червячного колеса имеет вогнутую (дугообразную) форму, которая хорошо сопротивляется изгибу. Поэтому для червячной передачи  $Y_F$  меньше и, следовательно, при прочих равных параметрах, - напряжение  $\sigma_F$  меньше.

Почему имеется необходимость рассчитывать редуктор с червячной передачей на нагрев? Чем ограничена максимальная температура его нагрева? Какими способами можно уменьшить температуру нагрева редуктора с червячной передачей?

## 7. О валах

Назначение валов. Каким нагрузкам (действию каких силовых факторов) подвергаются валы? Какие напряжения действуют в поперечных сечениях валов? Почему валы чаще всего имеют ступенчатую форму? По какому циклу изменяются напряжения изгиба в валах? По какому циклу изменяются касательные напряжения в валах? Что происходит с валами под действием переменных напряжений изгиба и кручения? Какие внешние нагрузки (активные нагрузки) следует учитывать при расчете валов? Чем объясняется появление консольной нагрузки  $F_k$  на выходных концах быстроходного и тихоходного валов редуктора? Как можно уменьшить  $F_k$ ? Что такое радиальная и что такое угловая несоосности валов? Какой расчет (по каким напряжениям) дает возможность ориентировочно определить наименьший диаметр вала? Почему возникла необходимость расчета диаметра вала по «уменьшенным касательным допускаемым напряжениям»? Почему реакции подшипниковых опор определяют для двух взаимноперпендикулярных плоскостей? Почему эпюры изгибающих моментов строят для двух плоскостей? Как определить суммарные реакции подшипниковых опор? Как определить величину суммарного изгибающего момента для любого произвольного сечения вала? По какой формуле следует определять напряжения изгиба для любого произвольного сечения вала? Ответ: - по формуле  $\sigma_a = M_\Sigma / W_{из}$ , где  $M_\Sigma$  - суммарный изгибающий момент,  $W_{из}$  - момент сопротивления изгиба. Для круглого поперечного сечения диаметром  $d$  имеем  $W_{из} = \pi d^3 / 32$ . Указанные формулы надо знать и надо уметь ими пользоваться. По какой формуле надо определять касательные напряжения в сечении вала? Ответ: - по формуле  $\tau = T / W_{кр}$ , где  $T$  - крутящий момент в сечении,  $W_{кр}$  - момент сопротивления кручению (полярный момент). Для вала диаметром  $d$  имеем  $W_{из} = \pi d^3 / 16$ . Эти формулы надо знать. Какая механическая характеристика материала вала используется для определения коэффициента заноса прочности по касательным напряжениям? Какие конструктивные факторы оказывают влияния на выносливость вала? Какое явление называют концентрацией напряжений в детали? Что такое теоретический коэффициент концентрации напряжений? Что такое эффективный коэффициент концентрации напряжений? Как этот коэффициент обозначается? Отчего зависит его величина? Как можно уменьшить влияние концентрации напряжений на выносливость вала? Что такое масштабный эффект? Ответ: - масштабным эффектом называется снижение предела выносливости вала при увеличении его диаметра.

Как это явление учитывается при определении заноса прочности вала? Что такое коэффициент масштабного фактора? Ответ: - коэффициент масштабного фактора обозначается символом  $K_d$  и он равен отношению предела выносливости вала «большого» диаметра к пределу выносливости стандартного образца диаметром 7,5 мм. Как учитывается влияние качества поверхности вала на его выносливость? После того, как определены суммарные коэффициенты заносов прочности для нескольких «подозрительных» сечений вала какое именно сечение следует назвать опасным? В Вашем редукторе какое сечение тихоходного вала является опасным? Почему?

#### 8. О шпоночных (шлицевых) соединениях

Назначение шпоночного соединения. Достоинства и недостатки соединений с призматическими шпонками. Как подбирается сечение шпонки  $b \times h$  для вала? Под действием каких рабочих напряжений находится шпонка? Покажите на чертеже редуктора в каких сечениях шпонок возникают: а) касательные напряжения среза; б) нормальные напряжения смятия. По каким напряжениям выполняют практический расчет шпонок? Как повысить прочность шпоночного соединения, если условие его прочности не выполняется? Какая из шпонок в Вашем редукторе подвергается действию небольших напряжений? Какие виды шлицевых соединений Вам известны? Дайте оценку шлицевым соединениям и назовите области их применения.

#### 9. О подшипниках качения

Достоинства и недостатки подшипников качения. Какие подшипники называют: а) радиальными; б) радиально-упорными? Какие напряжения приводят к выходу из строя подшипников качения? Где в подшипниках качения возникают контактные напряжения? По какому циклу изменяются контактные напряжения в подшипнике? Как разрушаются детали подшипника качения от контактных напряжений? Что такое динамическая грузоподъемность подшипника? Как она обозначается? В каких единицах измеряется? Чем отличается серии подшипников и что у них общее? Как определяется радиальная нагрузка на подшипники? Как определяется осевая нагрузка для радиально-упорного подшипника? Ответ: - осевая нагрузка для радиально-упорного подшипника равна сумме осевой силы, возникающей в зацеплении зубчатых колес (например, косозубых) и дополнительной осевой нагрузки, возникающей в подшипнике от радиальной нагрузки за счет наклона контактных линий. Какую нагрузку для радиально-упорного подшипника называют эквивалентной динамической нагрузкой? Ответ: - эквивалентной динамической нагрузкой для радиально-упорного подшипника называют радиальную нагрузку, под действием которой этот подшипник имеет такую же долговечность, какую имел бы этот подшипник под суммарным действием радиальной



и осевой сил. В каких случаях осевая нагрузка радиально- упорного подшипника не принимается в расчет при определении его долговечности? Ответ: - это возможно тогда, когда отношение осевой нагрузки к радиальной нагрузке не превышает величину коэффициента  $e$ . Что обозначает коэффициент  $e$ ? Ответ: - этот коэффициент называется коэффициентом минимальной осевой силы и он показывает какую часть от радиальной нагрузки  $F_r$  составляет та осевая сила, которая нагружает детали подшипника из-за наклона контактных линий. Коэффициент  $e$  – табличная величина. В каких случаях выполняют расчет подшипников на статистическую грузоподъемность? Какие подшипники (тип, серия) установлены на валах Вашего редуктора? Зачем радиально-упорные подшипники при монтаже стремятся отрегулировать «на нулевой зазор»? Как в Вашем редукторе обеспечивается нулевой зазор в радиально –упорных подшипниках?

#### **10. О посадках деталей редуктора**

По какой посадке выполнено соединение зубчатых колес с валами? Объясните причину выбора такой посадки. Расшифруйте условную запись такой посадки. Как расположены поля допусков для вала и для отверстия в посадке с натягом? Что обозначают цифры в изображении полей допусков? По какой посадке выполнено соединение внешнего кольца подшипников с корпусом редуктора? По какой посадке выполнено соединение цилиндрической части крышек подшипников с корпусом редуктора?

#### **11. О рабочих чертежах деталей редуктора**

Объясните назначение допусков вала: а) под подшипником; б) под ступицей колеса; в) под манжетой. Расшифруйте обозначения этих допусков: круглости, цилиндричности, соосности, параллельности, симметричности, перпендикулярности. По каким соображениям назначаются эти допуски? Расшифруйте обозначения этих допусков. С какой целью на валах выполняют галтельные переходы? С какой целью поверхность валов выполняют шлифованной? Как обозначается шероховатость поверхности детали?