

состояния деталей и складом деталей, ожидающих восстановления; комплекточно-сборочный участок, относительно которого располагают участки восстановления деталей, окрасочный и обкаточно-испытательный.

Поточная организация технического обслуживания автомобилей предложена в СССР в 1928 году и, начиная с 1930 года, не было случаев проектирования крупного АТП, в котором не предусматривались бы поточные линии для межсменного обслуживания подвижного состава [4].

Внедрение поточных методов организации производства с принудительным перемещением изделий по позициям целесообразны на участках с постоянным объемом работ, применительно к обслуживаемым или ремонтируемым автомобилям. Это имеет место при выполнении технических обслуживаний на АЭП, а также – разборочных, очистных, окрасочных и сборочных работ на АРП. Применение поточной организации производства при ЕО становится целесообразным при минимальной суточной программе 100 обслуживаемых автомобилей, ТО-1 – при 12–15 автомобилей и ТО-2 – при 5–6 автомобилей. Поточная организация труда повышает производительность труда до двух раз.

**Заключение.** Таким образом, основным средством повышения технического уровня АЭП и АРП является реконструкция и техническое перевооружение их участков и зон. Предложен авторский метод выделения композиционных центров в компоновках производственных корпусов предприятий, позволяющий оптимальным образом расположить участки, зоны и склады по критериям минимальной транспортной работы по перемещению обслуживаемых и ремонтируемых изделий и производственной площади производственного здания (в части площади проездов). Обращено внимание на более полное внедрение поточных методов организации производства на АЭП и АРП.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование предприятия автомобильного транспорта: учебник / М. М. Болбас [и др.]; под ред. М. М. Болбаса. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.
2. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения: ТКП 248-2010 (02190). – Минск : РУП «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника», 2012. – 42 с.
3. Иванов, В. П. Техническая эксплуатация автомобилей. Дипломное проектирование: учебное пособие / В. П. Иванов. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 215 с.
4. Давидович, Л. Н. Проектирование предприятия автомобильного транспорта / Л. Н. Давидович. М. : Транспорт, 1975. – 392 с.

УДК 621.822.6

### ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

*Монтик С. В.*

Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Республика Беларусь

Номинальный ресурс подшипников  $L_{10}$ , который соответствует 90 % вероятности безотказной работы, и определяется для подшипников, изготовленных из

широко используемого материала хорошего качества, при хорошем качестве изготовления и работающих в нормальных условиях эксплуатации [1], может значительно отличаться от реального срока службы современных высококачественных подшипников в определённых условиях эксплуатации. Фактический срок службы подшипника зависит от таких факторов, как условия смазывания, степень загрязнённости, наличие перекоса, правильность монтажа.

При нагрузке ниже некоторого определенного значения современные высококачественные подшипники могут достигать бесконечного ресурса, если условия смазки, чистота и другие условия эксплуатации являются благоприятными.

Для подшипников качения из обычно используемого материала хорошего качества и при хорошем качестве изготовления предел усталостного напряжения достигается при контактном напряжении, приблизительно равном 1500 МПа [1]. При практическом использовании подшипников контактные напряжения оказываются больше, чем 1500 МПа, при этом условия эксплуатации вызывают дополнительные напряжения, что приводит к дальнейшему снижению ресурса подшипника.

Для упрощения практических расчетов вместо предела усталостного напряжения введено понятие предела усталостной нагрузки  $S_u$ , который определяется как нагрузка, при которой в наиболее нагруженном контакте дорожки качения достигается предел усталостного напряжения  $\sigma_u$ .

Если смазочный материал загрязнен твердыми частицами, то в результате перекачивания этих частиц могут образовываться остаточные вмятины на дорожке качения. В местах этих вмятин происходит повышение локального напряжения, которое ведет к снижению ресурса подшипника. Это снижение ресурса вследствие загрязнения масляной пленки учитывается коэффициентом загрязнения  $e_c$ . Снижение ресурса в результате присутствия твердых частиц в масляной пленке зависит от таких факторов, как тип, размер, твердость и количество частиц; толщина масляной пленки; размер подшипника.

Эффективность смазочного материала главным образом определяется степенью разделения контактирующих поверхностей качения. Для образования соответствующей разделительной смазочной пленки смазочный материал должен обладать определенной минимальной вязкостью при достижении подшипником рабочей температуры. Условие разделения смазочным материалом характеризуется относительной вязкостью  $k$ , являющейся отношением фактической кинематической вязкости  $\nu$  к номинальной кинематической вязкости  $\nu_1$ , необходимых для достижения надлежащих условий смазки. Значение кинематической вязкости  $\nu$  принимают при рабочей температуре смазочного материала.

Для учета данных факторов в стандарте ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007) [1] определяется модифицированный ресурс подшипников

$$L_{nm} = a_1 a_{ISO} L_{10}, \quad (1)$$

где  $a_1$  – коэффициент модификации ресурса по вероятности безотказной работы;  
 $a_{ISO}$  – системный коэффициент модификации ресурса;  
 $L_{10}$  – номинальный ресурс, миллион оборотов.

Системный коэффициент модификации ресурса  $a_{ISO}$  учитывает следующие факторы: тип подшипника; предел усталостной нагрузки  $C_u$ ; эквивалентную динамическую нагрузку подшипника  $P$ ; условия смазки (тип смазочного материала, вязкость, частота вращения подшипника, размер подшипника, присадки); влияние окружающей среды (уровень загрязнения, уплотнения); параметры частиц загрязняющего вещества (твердость и размер частиц по отношению к размеру подшипника, метод смазывания, фильтрация); качество монтажа (соблюдение чистоты во время монтажа, например, тщательная промывка узла, фильтрация поставляемого масла).

Коэффициент  $a_{ISO}$  можно выразить в виде функции

$$a_{ISO} = f(e_c C_u / P; k), \quad (2)$$

$$k = \nu / \nu_1, \quad (3)$$

где  $e_c$  – коэффициент загрязнения;  $k$  – относительная вязкость;  $\nu$  – фактическая кинематическая вязкость при рабочей температуре,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $\nu_1$  – номинальная кинематическая вязкость, необходимая для достижения надлежащих условий смазки,  $\text{мм}^2/\text{с}$ .

При расчете предела усталостной нагрузки  $C_u$  учитывается влияние следующих факторов: типа, размера и внутренней геометрии подшипника; профиль тел качения и дорожек качения; качество изготовления; предел усталостного напряжения материала дорожек качения. Некоторые мировые производители подшипников, например шведская фирма SKF, в каталоге подшипников указывают предел усталостной прочности для конкретного типоразмера подшипника [2].

В ГОСТ 18855-2013 [1] приводятся усовершенствованный и упрощенный метод расчета предела усталостной нагрузки  $C_u$ , а также методы расчета коэффициента загрязнений, относительной вязкости  $k$  и коэффициента модификации ресурса  $a_{ISO}$ . На практике коэффициент модификации ресурса следует ограничить  $a_{ISO} \leq 50$ .

Ранее в соответствии с ГОСТ 18855-94 вместо понятия модифицированного ресурса использовался скорректированный расчетный ресурс  $L_{na}$  [3]

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10}, \quad (4)$$

где  $a_2$  – коэффициент, корректирующий ресурс в зависимости от особых свойств материала и (или) конструкции подшипника;  $a_3$  – коэффициент режима смазки, корректирующий ресурс в зависимости от условий работы подшипника. В связи с тем, что коэффициенты  $a_2$  и  $a_3$  взаимосвязаны, в расчетах было принято использовать их произведение – коэффициент  $a_{23}$  [3]:

$$L_{na} = a_1 a_{23} L_{10}. \quad (5)$$

Рассмотрим особенности расчета коэффициента модификации ресурса  $a_{ISO}$  и отличие его величины от ранее используемого коэффициента  $a_{23}$  на примере

установленного на тихоходном валу двухступенчатого коническо-цилиндрического горизонтального редуктора роликового конического однорядного подшипника легкой серии 7216А по ГОСТ 27365-87, который имеет следующие параметры:  $d = 80$  мм;  $D = 140$  мм; статическая грузоподъемность  $C_{or} = 114$  кН; частота вращения внутреннего кольца подшипника  $n = 80$  мин<sup>-1</sup>; эквивалентная динамическая нагрузка  $P_r = 28,8$  кН. Параметры нагружения подшипника взяты из примера из пособия [4]. Для конического роликоподшипника для обычных условий работы, подшипник из стали ШХ15, полученной по обычной технологии, коэффициент  $a_{23} = 0,65$  [3, 4].

Для расчета коэффициента модификации ресурса  $a_{ISO}$  определяем предел усталостной нагрузки  $C_u$  по упрощенной методике расчета [1]. Для роликовых подшипников с  $D_{pw} > 100$  мм формула имеет вид:

$$C_u = C_0 / 8,2 \cdot (100 / D_{pw})^{0,5}, \quad (6)$$

где  $C_0$  – статическая грузоподъемность подшипника, кН;  $D_{pw}$  – диаметр центральной окружности шариков или роликов, мм (можно использовать средний диаметр подшипника). Для подшипника 7216А  $C_u = 13,26$  кН.

Определяем номинальную кинематическую вязкость  $\nu_1$ , необходимую для достижения надлежащих условий смазки [1]:

$$\nu_1 = 4500n^{-0,83} D_{pw}^{-0,5} \quad \text{для } n < 1000 \text{ мин}^{-1}. \quad (7)$$

Для примера  $\nu_1 = 11,3$  мм<sup>2</sup>/с.

Определяем фактическую кинематическую вязкость  $\nu$  при рабочей температуре по диаграмме 6 [2] для рабочей температуры подшипника 70 °С. Для примера требуется смазка класса вязкости ISO VG 32 с минимальной фактической вязкостью  $\nu = 32$  мм<sup>2</sup>/с при номинальной температуре 40 °С. В примере в редукторе использовалось масло индустриальное И-Г-А-46 по ГОСТ 17479.4-87 с фактической вязкостью  $\nu = 46$  мм<sup>2</sup>/с при температуре 40 °С.

Далее определяется относительная вязкость  $k$  по формуле (3). Для примера относительная вязкость  $k = 4,07$ . В случае, если  $k > 4$ , следует принять  $k = 4$ .

Находим ориентировочные значения коэффициента загрязнений  $e_c$  по [1]. Для типичного загрязнения при типичных условиях для подшипников без встроенных уплотнений, при проточной фильтрации, наличии частиц износа и загрязнения из окружающей среды при  $D_{pw} \geq 100$  мм коэффициента загрязнений  $e_c$  принимается от 0,2 до 0,4.

Коэффициент модификации ресурса для радиальных и радиально-упорных роликовых подшипников определяется по формуле [1]:

$$a_{ISO} = 0,1 \cdot \left[ 1 - \left( 1,5859 - \frac{1,2348}{k^{0,071739}} \right) \left( \frac{e_c C_u}{P} \right)^{0,4} \right]^{-9,185} \quad \text{для } 1 \leq k \leq 4. \quad (8)$$

Для примера  $a_{ISO} = 0,89$ , что в 1,37 раза больше, чем применяемый ранее коэффициент  $a_{23} = 0,65$ . Т. е. за счет использования системного коэффициента модификации ресурса  $a_{ISO}$ , учитывающего загрязнение и условия смазки, модифицированный ресурс подшипника при тех же условиях работы оказывается в 1,37 раза больше, что позволяет использовать подшипники более легких размерные серий.

Коэффициент  $a_{23} = 0,9$  (т.е. практически совпадает с рассчитанным коэффициентом  $a_{ISO}$ ), если принимать его для следующих условий применения подшипников: гарантированное наличие гидродинамического режима смазки и отсутствие повышенных перекосов колец [3].

Методика расчета модифицированного ресурса подшипников по ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007) [1] внедрена в учебный процесс и используется при проведении практических занятий и курсового проектирования по дисциплине «Детали машин» у студентов специальностей 1–37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей», 1–37 01 07 «Автосервис», 1–36 01 01 «Технология машиностроения». Сложность в применении данной методики заключается в отсутствии достоверных данных о коэффициенте загрязнений для конкретных условий работы подшипников.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Подшипники качения. Динамическая грузоподъемность и номинальный ресурс: ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007, MOD). – Взамен ГОСТ 18855-94 ; введ. 01.08.2016. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2016. – V, 49 с. : ил., табл.
2. Каталог «Подшипники качения SKF» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.skf.com/binaries/pub39/Images/0901d196806f74ee-Rolling-bearings---10000\\_3-RU\\_tcm\\_39-121486.pdf#cid-121486](https://www.skf.com/binaries/pub39/Images/0901d196806f74ee-Rolling-bearings---10000_3-RU_tcm_39-121486.pdf#cid-121486) – Дата доступа: 01.08.2021.
3. Детали машин : учебник для вузов / Л. А. Андриенко [и др.]; под ред. О. А. Ряховского. – 4-е изд., перераб. и доп. – М : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 465 с. : ил.
4. Санюкевич, Ф. М. Детали машин. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Ф. М. Санюкевич. – 2-е изд., испр. и доп. – Брест: БрГТУ, 2004. – 473 с.

УДК 629.113:004.94

### ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ АВТОСЕРВИСА

*Монтик С. В.*

Брестский государственный технический университет,  
г. Брест, Республика Беларусь

Одним из способов определения оптимального количества постов технического обслуживания (ТО) и ремонта при проектировании или реконструкции станций технического обслуживания автомобилей (СТОА) является использование имитационного моделирования, которое позволяет задавать требуемые законы распределения потока требований на обслуживания и потока обслуживания, а также определять коэффициент загрузки постов, среднюю длину очереди и время нахождения в ней, количество обслуживаний за определенный период.