

УДК 624.4; 621.891

*Асп. П.Е. Коновалов*

## **РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ КАК ФУНКЦИЯ ДИАМЕТРАЛЬНОГО ЗАЗОРА В МОП**

*Представил д-р техн. наук, профессор Е.Н. Лысков*

**Постановка проблемы.** Для поиска резервов повышения ресурса моторно-осевых подшипников (МОП) локомотивов необходимо определить интенсивность расхода этого параметра в течение всего периода службы комплекта вкладышей. Согласно диаграмме Герси-Штрибека с увеличением диаметрального зазора область существования наиболее

благоприятного – жидкостного режима трения – на поверхностях МОП сокращается (рис. 1) [1], а смешанного и граничного – соответственно расширяется. Эта закономерность характеризуется увеличением коэффициента внешнего трения, следовательно, возрастанием интенсивности изнашивания сопряжения.

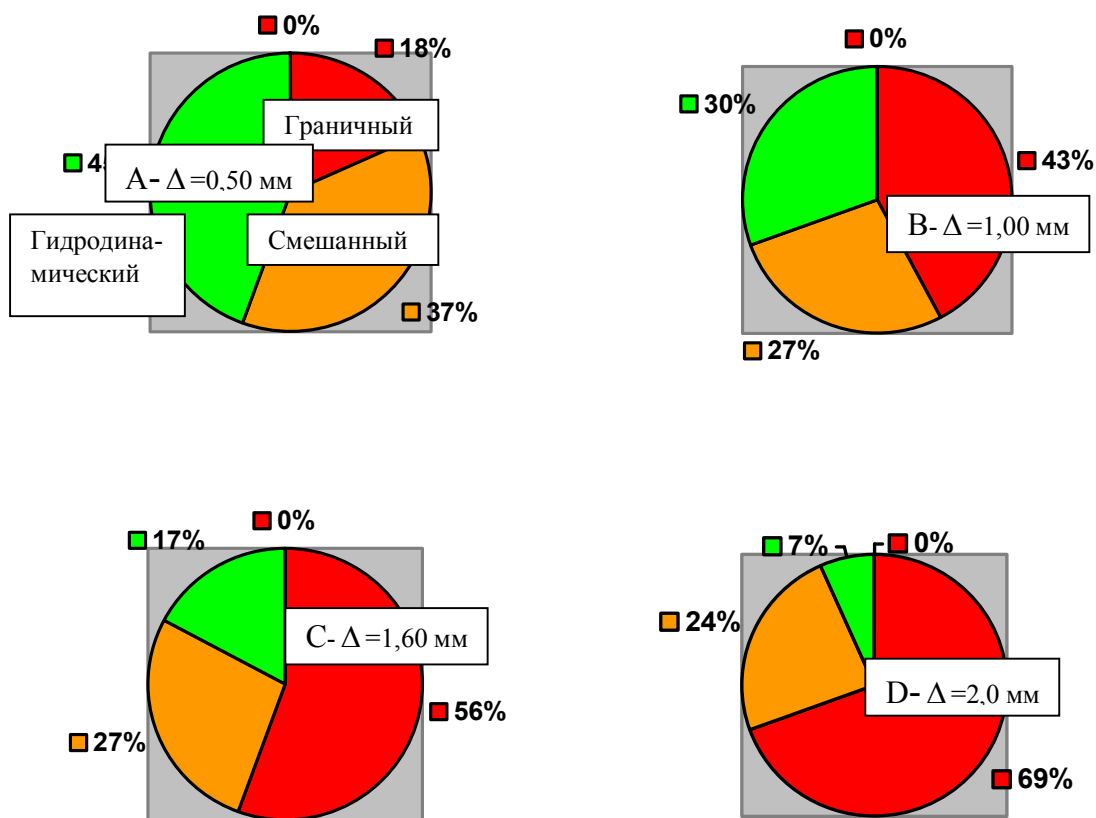


Рис. 1. График удельной продолжительности работы (%) МОП в различных режимах трения в зависимости от величины диаметрального зазора  $\Delta$  [1]

Таким образом, между параметром диаметрального зазора и интенсивностью изнашивания поверхностей МОП существует функциональная взаимосвязь. Знание этой взаимосвязи необходимо, в частности, для прогнозирования ресурса работы этих узлов.

**Анализ публикаций.** Известные исследования [2, 3] посвящены анализу основных причин изнашивания МОП и путям его снижения, однако в них отсутствуют данные о закономерностях взаимосвязи этого явления с величиной диаметрального зазора.

**Цель работы** состоит в разработке расчетной модели, описывающей взаимосвязь интенсивности изнашивания со степенью выработки допуска на

диаметральный зазор МОП тепловоза 2ТЭ116.

**Основной материал.** Для составления расчетной модели этой взаимосвязи нами разработана методика определения интенсивности изнашивания МОП тепловоза 2ТЭ116, в основу которой положены известные зависимости теории трения [4]. В предлагаемой методике износ рассматривается только на установившейся стадии. Кроме того, в ней не учитываются износные явления, связанные с потерей гидродинамического давления в смазочном слое из-за наличия во вкладыше МОП смазочного окна.

Интенсивность изнашивания  $I$  пары трения определяется [4] как отношение

величины износа  $U$  к пути  $L$ , на котором происходило изнашивание:

$$I = U/L, \quad (1)$$

где  $U$  – износ поверхностей трущихся тел.

Путь  $L$  в формуле (1) представляется как пробег локомотива или как ресурс МОП.

Процесс изменения интенсивности изнашивания  $I$  и его связь с ресурсом МОП удобнее рассматривать через скорость изнашивания  $\gamma$ , между которыми существует зависимость [4]

$$\gamma = \nu \cdot I, \quad (2)$$

где  $\nu$  – скорость скольжения трущихся поверхностей.

Величина скорости изнашивания  $\gamma$  для установившегося режима пропорциональна скорости скольжения  $\nu$  и давлению  $p$  в сопряжении

$$\gamma = k \cdot \nu^n \cdot p^m, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $m, n$  – показатели степени.

Для приработанных поверхностей трения показатели степени в формуле (3) можно принять  $m = n = 1$  [4].

Зависимость (3) не учитывает условий смазочного режима сопряжения, под влиянием которого происходит изменение коэффициента трения [1], а следовательно и интенсивности изнашивания поверхностей МОП. Для учета этого условия в формуле (3) требуется ввести дополнительный коэффициент  $k_n$ , характеризующий напряженность режима трения:

$$k_n = f_i / f_y, \quad (4)$$

где  $f_i$  – коэффициент внешнего трения при фактически действующем на поверхности сопряжения виде смазки;

$f_y$  – коэффициент трения в сопряжении при отсутствии смазки.

Тогда зависимость (3) будет иметь вид

$$\gamma = k \cdot \frac{f_i}{f_y} \cdot \nu \cdot p. \quad (5)$$

Выражение  $(\nu \cdot p)$  в формуле (5) характеризует мощность удельной нагрузки подшипника, а величина  $(f_i \cdot \nu \cdot p)$  отражает мощность  $N_T$  сил трения, действующей на элементарную поверхность. Результатом работы  $A_T$  сил трения является износ  $U$  поверхности подшипника. Следовательно, между скоростью изнашивания  $\gamma$  и износом  $U$  поверхностей МОП, с одной стороны, а также мощностью  $N_T$  и работой  $A_T$  сил трения – с другой, существуют параметрические связи вида

$$\gamma_i = \frac{k}{f_y} N_{Ti} \quad \text{и} \quad U_i = \frac{k}{f_y} N_{Ti} \cdot t_i. \quad (6)$$

где  $t_i$  – продолжительность работы сил трения на элементарном участке износа поверхности.

Следовательно, скорость изнашивания поверхности пропорциональна мощности сил внешнего трения и зависимости (6) далее могут быть использованы для исследования их как функций диаметрального зазора МОП  $\gamma = \Phi(\Delta)$ .

Исходными данными для расчетной модели изнашивания сопряжения МОП являются предварительно рассчитанные параметры  $\mathcal{G}, p, f$  [1]. Длительность работы сопряжения в том или ином нагрузочно-скоростном режиме

рассчитывалась на материалах работы [5]. Величина  $t_i$  определялась как

$$t_i = \frac{100\%}{A_i} \cdot \frac{1}{(A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n)}, \quad \text{или}$$

$$t_i = \frac{100\%}{U_i} \cdot \frac{1}{\sum_1^n U}, \quad (7)$$

где  $A_i$  – работа сил трения, необходимая для достижения предельного линейного износа  $U$  поверхности МОП;

$A_1, A_2, \dots, A_n$  – работа сил трения по изнашиванию отдельного элементарного участка линейного износа;

$n$  – число элементарных участков предельного линейного износа.

Для сравнения темпов износа МОП при различных скоростях, нагрузках и диаметральных зазорах зависимость (6) представим в относительном виде

$$U_i = \frac{\gamma_i}{\gamma_0} \cdot t_i, \quad (8)$$

где  $\gamma_i$  – скорость изнашивания как функция параметров  $\Delta$  и  $t_i$ ;

$\gamma_0$  – единица измерения скорости изнашивания.

За единицу измерения скорости изнашивания  $\gamma_0$  нами принята величина скорости изнашивания МОП, рассчитанная при диаметральном зазоре  $\Delta = 0,50$  мм и при скорости движения тепловоза от 0 до 10 км/ч.

Применение описанной расчетной модели позволяет построить график изменения скорости изнашивания в зависимости от диаметрального зазора для наиболее нагруженного моторно-осевого подшипника тягового электродвигателя ЭД118А (рис 2) [6].

Площадь каждого графика представляет собой величину износа  $U$  МОП на условном участке пробега тепловоза при определенном значении диаметрального зазора.

**Выводы.** Анализ графиков показывает, что продление режима действия граничного и смешанного трения в случае увеличения диаметрального зазора приводит к возрастанию интенсивности изнашивания поверхностей подшипника. Если в качестве базовых величин рассматривать значения  $\gamma$  и  $U$ , свойственные напряженности работы МОП при скорости движения локомотива 10 км/ч, то можно отметить:

- с ростом скорости движения в пределах действия граничного и смешанного режимов возрастают показатели  $\gamma$  и  $U$  повреждения поверхностей трения МОП;

- эксплуатационный рост величины диаметрального зазора приводит к расширению диапазона скоростей движения, на которых действует режим граничного и смешанного трения, общим результатом чего является ускоренный, до 75 %, износ рабочих поверхностей МОП;

- максимальные темпы износных повреждений рабочих поверхностей МОП наблюдаются при скоростях движения локомотива 40... 70 км/ч;

- у МОП, работающих в одинаковом нагрузочно-скоростном режиме, но с увеличенными в пределах допуска диаметральными зазорами, максимальная скорость изнашивания поверхностей трения по отношению к базовому уровню возрастает до 30 %, а износ – до 35-40 %;

- установленная закономерность изменения интенсивности изнашивания от величины диаметрального зазора позволяет, используя его в качестве диагностического параметра, перейти к прогнозированию ресурса МОП.

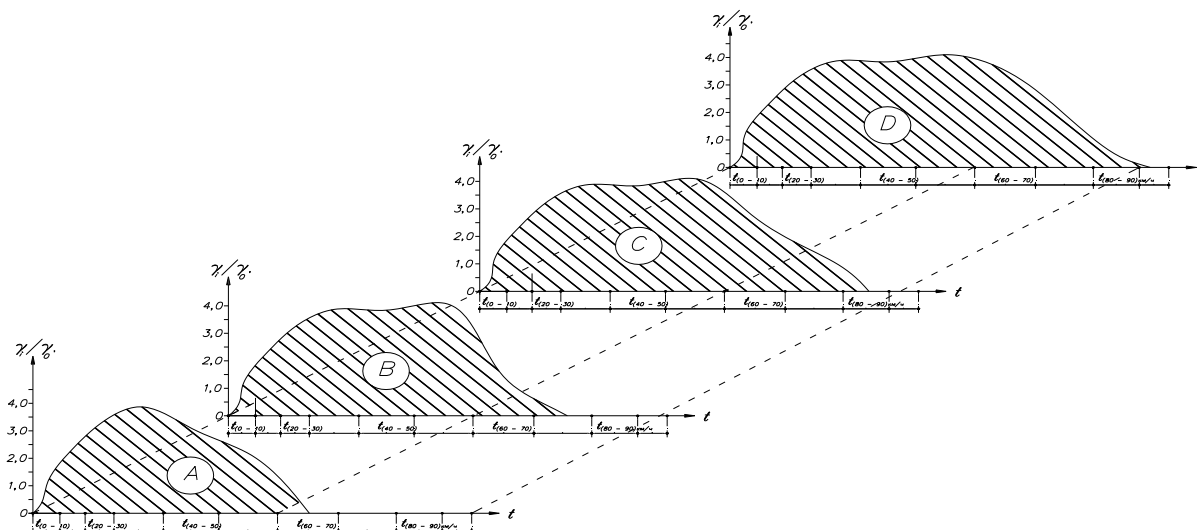


Рис. 2. График относительного изнашивания поверхностей трения МОП:

$\gamma_i/\gamma_0$  – относительная скорость изнашивания;  $t$  – продолжительность движения

тепловоза с той или иной скоростью;  $t_{(20-30)}$  – продолжительность движения тепловоза со скоростью 20...30 км/ч; А – величина диаметрального зазора  $\Delta = 0,50$  мм;

В – то же самое при  $\Delta = 1,00$  мм; С - то же при  $\Delta = 1,60$  мм;

Д – то же при  $\Delta = 2,00$  мм.

### Список литературы

1. Астахов, В.Н. Оценка режимов трения и смазки в подшипниках осевого подвешивания локомотивов [Текст] / В.Н. Астахов, Е.Н. Лысыков, П.Е. Коновалов: зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДІТ, 2011. – Вип. 40. – С.46-53.
2. Головінов, Г.Г. Тертя і мащення тяглових приводів локомотивів [Текст]: монографія / Г.Г. Головінов. – Луганськ: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 1996. – 116 с.
3. Тарута, Д.В. Повышение долговечности моторно-осевых подшипников тягового электродвигателя тепловоза [Электронный ресурс]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Дмитрий Викторович Тарута. – Режим доступа: <http://www.referun.com/n/povyshenie-dolgovechnosti-motorno-osevyh-podshipnikov-tyagovogo-elektrodivigatelya-teplovoza>
4. Трение, изнашивание и смазка [Текст]: справочник; в 2-х т. / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисына. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.
5. Волков, Н.Н. Подшипники качения колесных пар вагонов и локомотивов [Текст] / Н.Н. Волков, Н.В. Родзевич. – М.: Машиностроение, 1972. – 168 с.
6. Астахов, В.Н. Особенности нагружения поверхностей трения в моторно-осевых подшипниках локомотивов [Текст] / В.Н. Астахов, Е.Н. Лысыков, П.Е. Коновалов: зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 125. – С. 69–75.

**Ключевые слова:** моторно-осевой подшипник, тепловоз, модель, изнашивание, трение.

### *Анотації*

Подано розрахункову модель, яка встановлює взаємозв'язок між інтенсивністю зношування поверхонь тертя моторно-осьового підшипника тепловоза 2ТЭ116 зі ступенем відпрацювання допуску на його діаметральний зазор.

Представлена расчетная модель, описывающая взаимосвязь интенсивности изнашивания поверхностей трения моторно-осевого подшипника тепловоза 2ТЭ116 со степенью выработки допуска на его диаметральный зазор.

Dependence is considered between the size of relative diametral gap and descriptions of work of the motor-axial bearing on the different rates of movement of diesel engine: by the type of the mode of greasing, thickness lubricating layer, by the coefficient of friction and intensity of wear.