

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА НАРАБОТКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВАЛОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются вопросы установления предельных и допускаемых зазоров (натягов) сопряжений и допускаемых без ремонта размеров деталей (прямая задача), установления наработок (обратная задача), приведена попытка определения зависимости наработки распределительного вала автомобильного двигателя от коэффициента относительной износостойкости, а также дано математическое описание изменения параметра износа кулачков от наработки распределительного вала.

К настоящему времени предложены и используются ряд методик по установлению предельных и допускаемых значений зазоров (натягов) сопряжений и допускаемых без ремонта размеров деталей (прямая задача).

Наименее разработаны вопросы обоснования нормативных наработок при разработке и внедрении прогрессивных конструктивных и технологических решений составных частей автомобилей (обратная задача).

Целью предлагаемой методики является прогнозная оценка наработки изделия при условии обеспечения допустимых и предельных размеров с учетом требований надежности и экологической безопасности, установленных действующей нормативно-технической документацией. Состояние детали или механизма по этим критериям определяют выходные параметры двигателей внутреннего сгорания. Решение этой задачи базируется на основе результатов анализа динамики технического состояния автомобиля, которая в общем виде оценивается с использованием теории случайных процессов и методов точностных расчетов механизмов и машин [1, 4, 6].

При этом предполагается, что величина межремонтной наработки $L_{\text{мц}}$ определяется либо по результатам эксплуатационных испытаний объекта исследования в объеме представительной выборки с заданным уровнем надежности решения задачи, либо в соответствии с требованиями функционального назначения изделия за его жизненный цикл. Для этого необходимо обеспечивать допустимые и предельные значения технологических показателей технического состояния и выходных параметров сборочных единиц, механизмов и их структурных элементов.

Допустимое значение технологического показателя качества устанавливается при помощи математических моделей, графическое решение которых представлено на рисунке 1 (решение прямой задачи).

Достоверное решение задачи в конструктивно-технологическом аспекте неразрывно

связано с объективной необходимостью оценки ремонтпригодности на этапах проектирования и опытного выпуска изделий.

Выбор допустимого значения технологического показателя $G_{\text{д}}$ может приниматься либо по техническому $G_{\text{д}}^{\text{т}}$, либо по экологическому $G_{\text{д}}^{\text{э}}$ критериям. При этом приоритетное значение принадлежит экологическому показателю при условии обеспечения работоспособности изделия.

$$G_{\text{д}} = G_{\text{д}}^{\text{э}} \leq G_{\text{д}}^{\text{т}}$$

$$\text{при } [(L_{\gamma} - L_{\text{мц}}) = \Delta L]. \quad (1)$$

В условиях отсутствия достоверной информации о значениях L , L_{γ} и $L_{\text{мц}}$ возникает необходимость априорной (прогнозной) оценки указанных величин, что связано с необходимостью решения так называемой обратной задачи.

В основе решения этой задачи (на примере двигателей внутреннего сгорания как наиболее лимитирующей системы автомобиля) используется положение, заключающееся в том, что работоспособность сопряжений определяется мощностью, частотой вращения коленчатого вала дизеля (частотой циклов нагружения) и поверхностью контакта сопрягаемых пар. Очевидно, что увеличение степени нагруженности сопряжения приводит к необходимости ужесточения конструктивно-технологических и физико-механических свойств конструктивных элементов деталей.

Для решения поставленной задачи [1] рекомендуется использовать функцию вида:

$$G_{\text{пр}} = f\left(\frac{N_e}{n \cdot \Sigma F}\right), \quad (2)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя;

n – частота циклов нагружения рассматриваемого сопряжения;

ΣF – поверхность контакта сопрягаемых пар.

Определение доли нагрузки дизельного двигателя, приходящейся на конкретное сопряже-

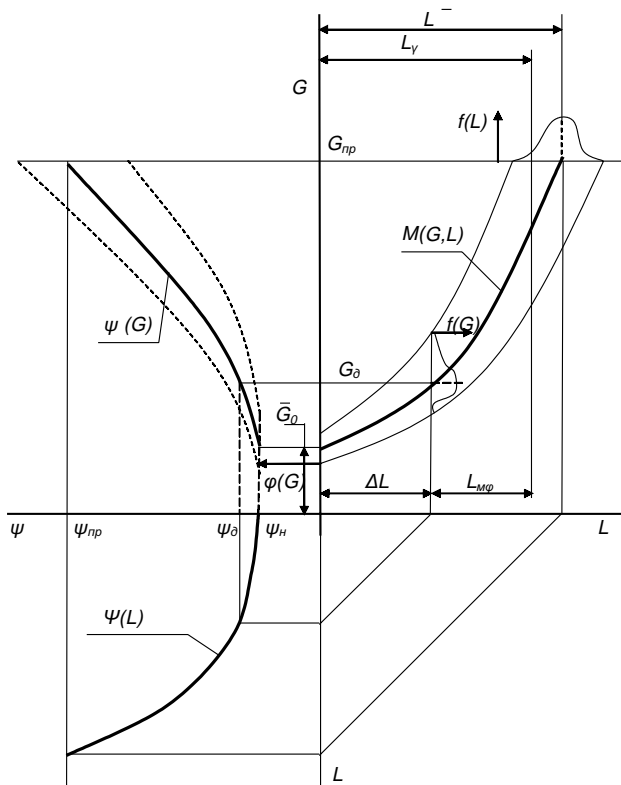


Рисунок 1. Графическая модель установления допустимого значения параметра технологического показателя:

- \bar{L} – оценка математического ожидания наработки до предельного состояния изделия;
- $G_{пр}$ – предельное значение показателя;
- ΔL – запас работоспособности по техническому состоянию;
- $L_{мр}$ – величина межремонтного цикла;
- L_{γ} – величина гамма-процентной наработки;
- $G_{д}$ – допустимое значение показателя;
- G_0 и $\varphi(G)$ – оценка математического ожидания и плотность исходного (базового) значения технологического показателя;
- $f(L)$ – плотность наработки до предельного состояния;
- $f(G)$ – плотность распределения технологического показателя;
- $M(G, L)$ – функция изменения технологического показателя от наработки;
- $\psi(G)$ – функция изменения установленного экологического показателя от технологического показателя;
- $\psi(L)$ – функция изменения установленного экологического показателя от наработки.

ние, является сложной задачей, требующей «тонких» исследований, специальных для каждого конкретного случая, так как необходимо учитывать специфику работы сопряжения, температурный режим, условия трения, давления, деформации и другие факторы. С этой целью для определения предельных размеров сопряжений используется зависимость вида:

$$G_{пр} = A' \left(\frac{Ne}{n \cdot \sum F} \right)^{-0,3}, \quad (3)$$

где A' – коэффициент, учитывающий условия нагружения, температурные условия, характер нагрузки и другие условия.

Суммарный размер поверхности контакта определяется с учетом формы и размеров контактирующих поверхностей, вида относительного движения. Результаты статистической обработки информации с использованием метода наименьших квадратов позволяют получить значения коэффициента A' , который приближенно учитывает условия нагружения сопряжений в долях эксплуатационной мощности в виде коэффициента K_N .

В соответствии с существующими рекомендациями [5] коэффициент A' в формуле (3) принимается равным $A' = 0,3 = \text{const}$, а для составляющей выражения (в скобках формулы (3)) вводится коэффициент условий нагружения сопряжения K_N , который определяется по формуле:

$$K_N = \exp \frac{\ln A'}{0,3 - 0,3}. \quad (4)$$

После преобразований формула (4) имеет вид:

$$G_{пр} = 0,3 \left(\frac{K_N \cdot Ne}{n \cdot \sum F} \right)^{-0,3}. \quad (5)$$

С учетом режимов работы сопряжения, распределения нагрузки между одноименными сопряжениями и других факторов формула для определения предельных зазоров (натягов) в сопряжениях дизельного двигателя может быть представлена зависимостью:

$$G_{пр} = \pm 0,3 \left(\frac{Ne \cdot k_N \cdot k'_N \cdot k_q \cdot k_{\delta} \cdot k_T \cdot k_K \cdot k_H}{n \sum_{i=1}^{z^*} F} \right)^{-0,3}, \quad (6)$$

- где (+) – для сопряжений с зазором и переходными посадками;
- (-) – для сопряжений с натягом;
- z^* – число одноименных сопряжений;
- F – активная поверхность контакта в одном сопряжении;
- k_N – коэффициент условий нагружения агрегата, узла, сопряжения в долях Ne ;
- k'_N – коэффициент условий нагружения рассматриваемого агрегата, узла, сопряжения в долях его эффективной нагрузки;
- k_q – коэффициент распределения нагрузки между однотипными сопряжениями;
- k_{δ} – коэффициент характера нагрузки;
- k_T – коэффициент, учитывающий температурные условия;
- k_H – коэффициент зазора (натяга);

k_k – коэффициент, учитывающий, какая деталь в сопряжении является подвижной относительно вектора нагрузки.

Графическое решение поставленной задачи представлено на рисунке 2.

Предельным для рассматриваемого ремонтного воздействия значением технологического показателя является $G_{пр}$:

$$G_{пр} = G_o + \Delta G_1(L_1) + \Delta G_2(L_1). \quad (7)$$

Допустимым для ремонтного воздействия и исходным для следующего цикла эксплуатации значением технологического показателя является G_d :

$$G_d = G_{пр} - \Delta G_1(L_1) = G_o + \Delta G_2(L_1). \quad (8)$$

При установлении допуска на величины G_d и $G_{пр}$ должен учитываться стохастический характер функций $\Delta G_1(L_1)$ и $\Delta G_2(L_1)$ для множества однотипных машин. Оптимизации подлежит срок службы объекта до рассматриваемого ремонтного воздействия с учетом вариации функций ΔG_1 и ΔG_2 .

Возможность продолжения эксплуатации объекта без проведения ремонтного воздействия решается на основе оценки показателей предельного состояния и его остаточного ресурса. Если имеет место частный случай, когда параметр $G(L) = G_d$, тогда может решаться вопрос о целесообразности проведения соответствующего ремонтного воздействия или соответствующей операции технического обслуживания.

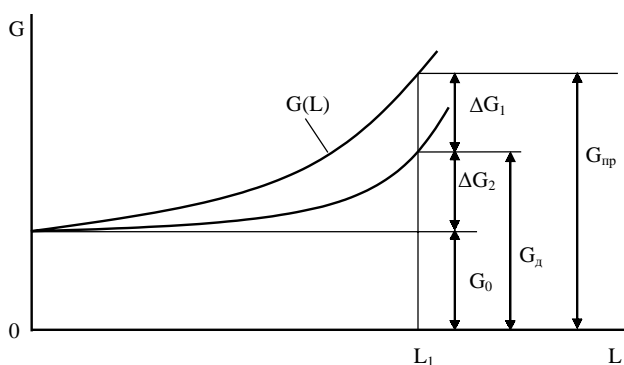


Рисунок 2 [1]. Динамика изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации: $G(L)$ – кривая, характеризующая общее изменение технологического показателя качества в процессе эксплуатации;

ΔG_1 – приращение той части технологического показателя, которая не может быть устранена при проведении ремонтного воздействия;

ΔG_2 – приращение части технологического показателя, которая может быть устранена при проведении ТО;

G_o – номинальное значение технологического показателя качества.

Аналогичный результат можно получить и для более сложных сочетаний ремонтно-обслуживающих воздействий, включая текущие ремонты.

Для капитального ремонта вопрос определения допустимых величин технологического показателя имеет свои особенности. В действующих технических нормативах на капитальный ремонт дизельных двигателей допустимые размеры для ряда основных ресурсных сопряжений строго регламентируются заводом-изготовителем, что обусловлено необходимостью обеспечения работоспособности этих сопряжений. Это требование обеспечивает величину гарантированного межремонтного ресурса. Для других сопряжений допустимые размеры оговариваются действующей нормативно-технической документацией. Нарушение этих требований повсеместно приводит к низкому качеству ремонта, которое выражается необеспечением гарантированного ресурса и требований экологической безопасности автомобиля. Так, доремонтная наработка автомобильных двигателей составляет от 0,6 до 0,8 от установленной НТД, а межремонтная – от 0,35 до 0,5 от доремонтной [3].

С учетом результатов анализа факторов, приводящих к снижению уровня качества, для определения допустимого значения G_d выходного параметра изделий рекомендуется использовать зависимость вида:

$$G_d = G_o + \frac{G_{пр} - G_o}{(1 + K)^\alpha} = G_o + \Delta G_d, \quad (9)$$

где $K = L_{мц} / L_d$ – степень обеспечения ресурса изделия;

L_d – значение доремонтной наработки;

α – показатель динамики изнашивания сопряжения;

ΔG_d – допустимое изменение значения технологического показателя качества.

Необходимость решения поставленной задачи заключается в прогнозной оценке наработки проектируемого изделия $L^{проект}$. С этой целью используются рекомендации [2, 5, 7, 8], согласно которым изменение параметра состояния одноименных элементов (например, кулачков распределительных валов) целесообразно аппроксимировать степенной функцией вида:

$$G(L) = G_o + k_{инт} \cdot L^\alpha, \quad (10)$$

где $k_{инт}$ – коэффициент, характеризующий среднюю интенсивность изменения технологического показателя от наработки. В зависимости от наработки, исходя из физической сущности про-

текающего процесса, значение коэффициента $K_{\text{инт}}$ можно представить в виде функции:

$$K_{\text{инт}} = \text{tg}\beta = \frac{G(L)}{L^\alpha}. \quad (11)$$

Следует отметить, что согласно графической интерпретации, представленной на рисунке 3, наиболее предпочтительным является обеспечение меньшего угла наклона β кривой.

Ресурс основных деталей автомобильных двигателей во многом зависит от износостойкости рабочих поверхностей его конструктивных элементов. Это обстоятельство положено в основу установления зависимости изменения технологического показателя качества от наработки.

На основании изложенного при прогнозной оценке наработки распределительных валов предлагается использовать понятие коэффициента относительной износостойкости $K_{\text{иотн}}$, который определяется отношением показателя износостойкости рабочей поверхности кулачков проектируемого (вновь создаваемого) распределительного вала $I_{\text{И}}^{\text{проект}}$ к показателю износостойкости рабочей поверхности кулачков базового (существующего) распределительного вала $I_{\text{И}}^{\text{баз}}$. При этом показатели износостойкости определяются как на основе проведенных теоретических, так и экспериментальных исследований.

$$K_{\text{иотн}} = \frac{I_{\text{И}}^{\text{проект}}}{I_{\text{И}}^{\text{баз}}}. \quad (11)$$

С учетом этого прогнозная оценка износа кулачков проектируемого распределительного вала $G(L)^{\text{проект}}$ определяется отношением вида:

$$G(L)^{\text{проект}} = \frac{G(L)^{\text{баз}}}{K_{\text{иотн}}}, \quad (12)$$

где $G(L)^{\text{баз}}$ – износ кулачков базового распределительного вала.

В частных случаях при равных наработках базового и проектируемого распределительных валов $L^{\text{баз}} = L^{\text{проект}}$

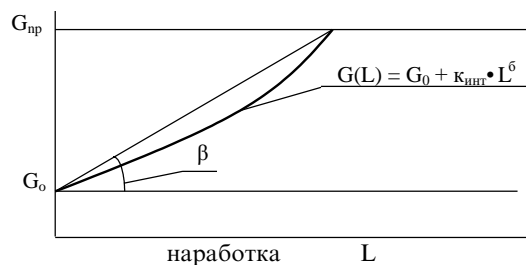


Рисунок 3. Графическая интерпретация изменения $G(L)$ в зависимости от коэффициента $K_{\text{инт}}$.

$$K_{\text{иотн}} = \frac{G(L)^{\text{баз}}}{G(L)^{\text{проект}}} = \frac{K_{\text{инт}}^{\text{проект}} \cdot (L^{\text{проект}})^\alpha}{K_{\text{инт}}^{\text{баз}} \cdot (L^{\text{баз}})^\alpha} = \frac{K_{\text{инт}}^{\text{проект}}}{K_{\text{инт}}^{\text{баз}}}, \quad (13)$$

а при равных значениях технологического показателя $G(L)^{\text{баз}} = G(L)^{\text{проект}}$

$$K_{\text{иотн}} = \frac{(L^{\text{проект}})^\alpha}{(L^{\text{баз}})^\alpha} = \left(\frac{G(L)^{\text{баз}}}{K_{\text{инт}}^{\text{баз}}} \right) / \left(\frac{G(L)^{\text{проект}}}{K_{\text{инт}}^{\text{проект}}} \right) = \frac{K_{\text{инт}}^{\text{проект}}}{K_{\text{инт}}^{\text{баз}}}. \quad (14)$$

В соответствии с приведенным выше при равных значениях технологического показателя качества проектируемого и базового изделий формула прогнозная оценка наработки проектируемого распределительного вала примет вид:

$$(L^{\text{проект}})^\alpha = K_{\text{иотн}} \cdot (L^{\text{баз}})^\alpha \quad (16)$$

или

$$L^{\text{проект}} = L^{\text{баз}} \cdot \sqrt[\alpha]{K_{\text{иотн}}}. \quad (17)$$

Разработанная методика прогнозная оценка наработки распределительного вала позволяет определять допустимые и предельные значения технологических показателей качества распределительного вала с учетом экологического критерия, проводить прогнозную оценку наработки до их достижения, а также осуществлять расчеты при разработке и внедрении прогрессивных методов повышения уровня надежности распределительного вала автомобильного двигателя.

Список использованной литературы:

1. Кривенко П.М., Челпан Л.К., Меджибовский А.С. Техничко-экономическое обоснование межремонтного и доремонтного ресурса дизелей // Труды ГОСНИТИ, т. 76 (1986).
2. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учебное пособие для машиностр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 319с.
3. Дехтеринский Л.В. Некоторые теоретические вопросы технологии ремонта машин. – М.: Высшая школа, 1970. – 194 с.
4. Решетов Д.Н. Детали машин. Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1974. – 655 с.
5. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
6. Апсин В.П., Дехтеринский Л.В. Моделирование процессов восстановления машин. – М.: Транспорт, 1996. – 311 с.
7. Шейнин А.М., Филиппов Б.И. Эксплуатация дорожных машин. – М.: Транспорт, 1992. – 328 с.
8. Михлин В.М. и др. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин. – М.: ОНТИ, ГОСНИТИ, 1972. – 220 с.