

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКАЕМЫХ ИЗНОСОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ РЕМОНТЕ

Мартышкин Анатолий Петрович

к.т.н., доцент кафедры конструкторско-технологической информатики
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва"
Россия, Саранск

Майоров Александр Михайлович

к.ф.-м.н., доцент кафедры конструкторско-технологической информатики
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва"
Россия, Саранск

Майоров Михаил Иванович

д.т.н., профессор кафедры конструкторско-технологической информатики
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва"
Россия, Саранск

Борискин Сергей Иванович

старший преподаватель кафедры конструкторско-технологической информатики
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарёва"
Россия, Саранск

Аннотация: Разработке методов определения допускаемых износов посвящено множество научных работ. Широкое распространение имеют методы, где законы износа определялись по результатам эксплуатации, а межремонтный ресурс устанавливался по среднему ресурсу наиболее изнашиваемой детали. При этом рассматривался прямолинейный характер износа. Но при этом у этих методик существовали серьёзные недостатки: не учтены вероятности безотказности элементов от назначаемых допускаемых износов. Кроме того, не было рекомендаций по расчёту экономической эффективности при установлении допусков на износ. Рассматривалась линейная зависимость износа, что совершенно не соответствует постоянно изменяющимся эксплуатационным условиям. В результате проведённого анализа выявлена необходимость развития и дополнения методик с целью уточнения допускаемых износов деталей, что может значительно повысить эффективность эксплуатации машин и оптимизировать ремонтное производство за счёт снижения затрат в межремонтный период.

Ключевые слова: износ детали, экономическая эффективность.

METHODS FOR DETERMINING ALLOWED WEARS OF MACHINE PARTS FOR REPAIR

Martyshkin Anatoly Petrovich

Ph.D., Associate Professor, Department of Design and Technology Informatics
National Research Mordovian State University named after N. P. Ogaryov
Russia, Saransk

Mayorov Alexander Mikhailovich

Ph.D., Associate Professor, Department of Design and Technology Informatics

National Research Mordovian State University named after N. P. Ogaryov
Russia, Saransk

Mayorov Mikhail Ivanovich

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Department of Design and Technology Informatics

National Research Mordovian State University named after N. P. Ogaryov
Republic of Mordovia, Saransk

Boriskin Sergey Ivanovich

Senior Lecturer, Department of Design and Technology Informatics

National Research Mordovian State University named after N. P. Ogaryov
Russia, Saransk

Abstract: A lot of scientific work has been devoted to the development of methods for determining the allowable wear. Methods are widely used where the laws of wear were determined by the results of operation, and the overhaul life was determined by the average resource of the most worn out part. In this case, the straightforward nature of wear was considered. But at the same time, these methods had serious drawbacks: the probability of failure-free elements from the prescribed permissible wear was not taken into account. In addition, there were no recommendations for calculating cost-effectiveness when establishing wear tolerances. A linear dependence of wear was considered, which completely does not correspond to constantly changing operating conditions. As a result of the analysis, the need for the development and addition of techniques to clarify the allowable wear of parts has been identified, which can significantly increase the efficiency of operation of machines and optimize repair production by reducing costs during the overhaul period.

Key words: detail wear, economic efficiency.

Допускаемый износ детали представляет собой граничный параметр, назначение которого обеспечивает надёжную работу станка. Данная величина износа является мерой определения исправности составных частей машины и оказывает существенное влияние на безотказную наработку, расход запасных частей и периодичность ремонта. Методы определения допускаемых износов совершенствуются и дополняются в связи с развитием науки, повышении требований по безотказности и обновлением машин.

Разработке методов определения допускаемых износов посвящено множество научных работ [1-15] и др. Широкое распространение имеют методы, изложенные в трудах [1, 2], где законы износа определялись по результатам эксплуатации, а межремонтный ресурс устанавливался по среднему ресурсу наиболее изнашиваемой детали. При этом рассматривался прямолинейный характер износа. По опытным данным определялись как средние, так и наиболее вероятные значения износостойкости, между которыми устанавливалась общая зависимость.

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 1 для расчёта допускаемых при ремонте износов деталей использовалась формула

$$I_{др} = I_{нр} - T_{мр} W_{ср}, \quad (1)$$

где $I_{нр}$ – предельный износ детали, мм;

$T_{мр}$ – межремонтный ресурс узла, ед. наработки;

$W_{ср}$ – средняя скорость изнашивания детали в процессе эксплуатации машины, мм/ ед. наработки.

Аналогичным образом определяются и допускаемые зазоры сопряжений деталей.

К широкому применению формулы (1) приводила ее наглядность и простота. Но при этом у первых методик существовали серьезные недостатки, а именно: не учтены вероятности безотказности элементов от назначаемых допускаемых износов. Кроме того, не было рекомендаций по расчёту экономической эффективности при установливании допусков на износ. Рассматривалась линейная зависимость износа, что совершенно не соответствует постоянно изменяющимся эксплуатационным условиям.

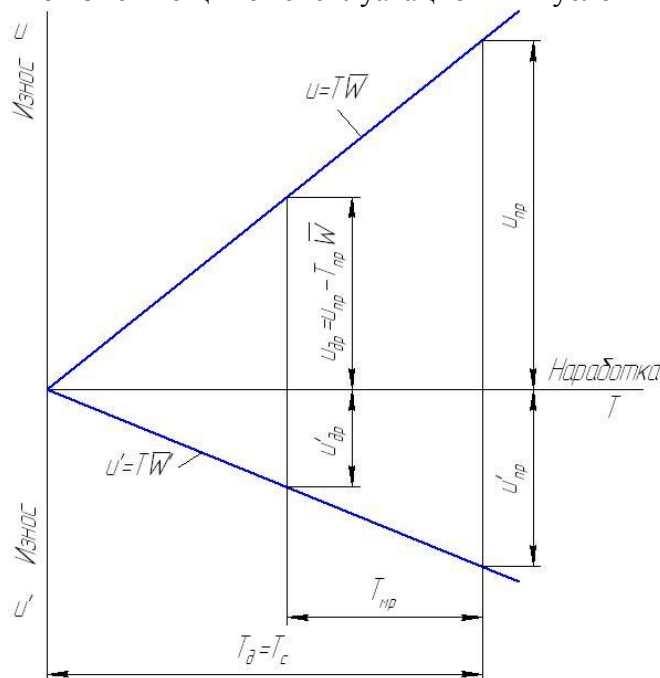


Рисунок 1 - Схема определения ресурса детали, сопряжения и допускаемого износа

Дальнейшее развитие связано с применением вероятностных методов при определении допускаемых износов.

В работах [3, 4] закономерность износа предлагается описывать случайной степенной функцией

$$U'(t) = V_c t^\alpha + Z + U_1, \tag{2}$$

$$U(t) = V_c t^\alpha + Z, \quad U(t) = U'(t) - U_1, \tag{3}$$

где $V_c t^\alpha$ - элементарная степенная функция;

Z – ошибка прогнозирования;

U_1 - износ на приработку, мм;

t - ресурс машины (или станка), ед. наработки;

α - показатель степени;

V_c - скорость изнашивания, ед. изм. износа/ед. наработки.

Данная функция позволяет описать процесс изнашивания достаточно точно.

Рассмотрим наиболее известные методики, применяемые для определения допускаемых износов деталей машин.

В работе [4] рассмотрен «метод основанный на применении критерия минимума издержек, которые связаны как с предупредительной заменой или восстановлением деталей, так и устранением последствий их отказов при эксплуатации». Развитие данный метод получил в работах [5-11].

Базовая целевая функция допускаемого износа имеет вид

$$G = \min_{0 \leq D \leq u_n} \left\{ \frac{AQ(D)}{T_c(D)} + \frac{C[1-Q(D)]}{T_c(D)} \right\}, \quad (4)$$

где $Q(D)$ – вероятность отказа детали;

$T_c(D)$ – используемый ресурс детали, ед. наработки;

A – издержки на с устранение последствий отказа, р.;

C – издержки на предупредительную замену (восстановление) детали, р.

На рисунке 2 представлены суммарная функция $G(D)$ и ее слагаемые. Связь аргументов функции с показателями износа показана на схеме рисунка. 3 на примере линейных реализаций с рассеиванием скорости износа.

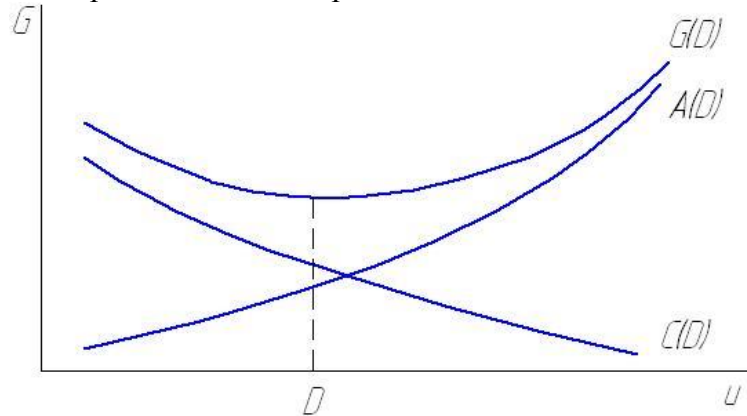


Рисунок 2 – Суммарная функция и её слагаемые в зависимости от допускаемого износа

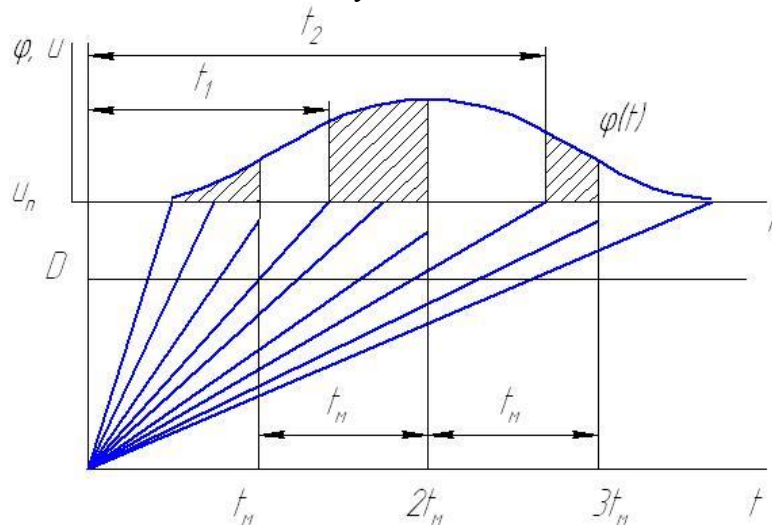


Рисунок 3 – Влияние допускаемого износа и межремонтной наработки на отказ детали

Учет периодичности ремонта (или контроля) t_m , вероятности устранения последствий отказа в эксплуатации с соответствующими издержками, погрешность измерений, и другие факторы позволили совершенствовать целевую функцию (4). Тогда формула приняла следующий вид

$$G(D, t_m, \sigma) = \min_{0 \leq D \leq u_n} \left\{ \frac{AQ_v(D, t_m, \sigma) + C[1 - Q_v(D, t_m, \sigma)] + BK_n(D, t_m, \sigma) + S(D, t_m, \sigma)}{T_B(D, t_m, \sigma)} \right\}, \quad (5)$$

где B – средние издержки на диагностирование, р.;

K_n – число проверок.

T_e – средняя наработка, ед. наработки.

Вероятность $Q(D, t_m, \sigma)$ показывает несовпадение времени отказа и последующего его устранения (задержку). Ухудшение состояния машины (станка) или отдельного узла при износе деталей отражают издержки $S(D, t_m, \sigma)$.

Значения $Q(D, t_m, \sigma)$ и $T_e(D, t_m, \sigma)$ целевой функции находят по динамике износа, с помощью специальных методик.

В исследовании [5] приводится функция, учитывающая потери от недостаточного использования ресурса детали, когда она заменяется предупредительно

$$L(T_p, T_d) = \frac{A \left[\int_0^{T_p} f(t) dt - \int_{T_p+T_d}^{\infty} f(t) dt \right] + B \int_{T_p}^{T_p+T_d} f(t) dt + C \left[\int_{T_p}^{T_p+T_d} f(t) dt - \int_{T_p}^{T_p+T_d} f(t) dt \right]}{\int_0^{T_p} f(t) dt + T_p \int_{T_p}^{\infty} f(t) dt}, \quad (6)$$

где T_p – исходная наработка;

T_d – остаточный ресурс;

A – издержки, связанные с устранением отказов в эксплуатации;

B – издержки, связанные с предупредительным восстановлением;

C – удельная стоимость детали.

В выражении (6) учитываются затраты как связанные с недоиспользованием ресурсов так и на устранение отказов.

После получения оптимальных значений T_p и T_d определяется оптимальный допускаемый износ

$$U_d = U_{np} \frac{\varphi(T_p)}{\varphi(T_p + T_d)}. \quad (7)$$

где U_{np} – предельный износ, соответствующий отказу, мм;

U_d – допускаемый износ, мм;

$\varphi(T_p), \varphi(T_p + T_d)$ – значения функций изменения параметров.

Представление процесса изнашивания при этом осуществляется известной функцией $V_c t^\alpha$. Однако получаемые допускаемые износы далеко не всегда оптимальны, что связано со случайной скоростью износа и наличием случайных факторов влияющих на динамику износа.

В работах [6, 7] допускаемый зазор в сопряжениях определяется по формуле

$$D_n = u_0 + \frac{P_n - u_0}{(1 + K)^\alpha} = u_0 + \Delta D_n, \quad (8)$$

где u_0 – начальный зазор, мм;

P_n – предельный зазор, мм;

α – показатель интенсивности износа;

$K = T_2 / T_1$ – степень восстановления ресурса;

T_1, T_2 – соответственно начальный и межремонтный ресурсы, ед. наработки;

ΔD_n – допускаемый износ сопряжения, мм.

Формула (8) хорошо работает при наличии двух межремонтных интервалов, но если

деталь обеспечивает 3, 4 и более интервалов межремонтной наработок, то будет иметь место недоиспользование её ресурса.

Последующее развитие методов определения допускаемых износов представлено в работах [8-11]. Предложено использовать систему нескольких значений допускаемых износов. Допускаемый износ при этом определяется перед каждым очередным периодом по формуле

$$D_i = \left(\frac{i \cdot t_M - t_M}{i \cdot t_M} \right)^\alpha \cdot U_p, \quad (9)$$

где i – порядковый номер периода;

t_M – величина межремонтного периода, ед. наработки;

α – показатель степени функции износа, мм;

U_p – предельный износ, мм.

Анализ зависимости (9) показывает увеличение D_i в каждом последующем межремонтном периоде.

В другом случае в уравнение (9) вводится дополнительный член, учитывающий отклонение от математического ожидания $z(u)$, который выражен среднеквадратическим отклонением σ_u , умноженным на квантиль B

$$D_i^p = \left(\frac{i \cdot t_M - t_M}{i \cdot t_M} \right)^\alpha \cdot U_p \pm \sigma_u \cdot B, \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) позволяют устранять неточность предшествующих методик [4, 5]. Однако в исследованиях [8-11] не учитывается то, что предельный износ U_p может быть случайной величиной.

Анализ известных научных работ выделяет технические, технико-экономические и экономические критерии, которые являются основой при оптимизации допускаемых износов. Формулы и целевые функции учитывают динамику изнашивания, наработку и периодичность ремонтов.

Однако известно, что динамика изнашивания одноимённых деталей может варьироваться в связи с нестабильностью различных факторов и случайным характером эксплуатационных условий. К тому же имеет место вероятностная связь между величиной предельного износа деталей машин и временем их отказов. При этом отсутствуют рекомендации по определению допускаемых износов с учетом вероятности безотказности деталей в межремонтном периоде и уточнению результатов в зависимости от изменения условий эксплуатации машин, а также учёта требований потребителя [12-15].

В результате проведённого анализа выявлена необходимость развития и дополнения методик с целью уточнения допускаемых износов деталей, что может значительно повысить эффективность эксплуатации машин и оптимизировать ремонтное производство за счёт снижения затрат в межремонтный период.

Список литературы:

1. Проников А.С. Расчёт и конструирование металлорежущих станков / А.С. Проников. - М.: Высшая школа, 1968. - 431 с.
2. Артемьев Ю.Н. Контроль технического состояния тракторных деталей при ремонте: справочник / [Ю.Н. Артемьев, И.В. Волгин, А.С. Гальперин и др.]. - М.: Колос, 1973. - 624 с.
3. Проников А.С. Надёжность машин / А.С. Проников. - М.: Машиностроение, 1978.

- 592 с.

4. Михлин В.М. Управление надёжностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. - М.: Колос, 1984. - 335 с.

5. Лезин П.П. Формирование надёжности мобильной сельскохозяйственной техники при её ремонте: автореф. дис. ... докт. тех. наук / П.П. Лезин; ГОСНИТИ. – М.: 1987. – 35 с.

6. Кривенко П.М. Руководящий технический материал: предельные и допускаемые параметры дизелей, их деталей и соединений при ремонте / П. М. Кривенко, Л.К. Челпан. – М.: ГОСНИТИ, 1989. – 100 с.

7. Челпан Л.К. Предельные и допускаемые технико-экономические параметры дизелей, размеры деталей и соединений при ремонте: автореф. дис. ... докт. тех. наук / Л.К. Челпан; ГОСНИТИ. – М.: 1990. – 44 с.

8. Михлин В.М. Метод определения допускаемых износов деталей, обеспечивающий повышение их безотказности / В.М. Михлин, В.Н. Дорогой // Вестник машиностроения. 2008. № 7. – С. 11 – 14.

9. Дорогой В.Н. Ресурсосберегающая методика определения допускаемых при эксплуатации износов элементов, отклонений параметров машин: автореф. дис. канд. тех. наук / В.Н. Дорогой; ГНУ ГОСНИТИ. - М.: 2009. – 19 с.

10. Табаков П.А. Новая методика определения допускаемого износа деталей при эксплуатации / П.А. Табаков, А.А. Соломашкин, В.М. Михлин // Международный научный журнал. 2011. № 1. С. 56 – 60.

11. Табаков П.А. Развитие новой методики определения допускаемого износа деталей при эксплуатации / П.А. Табаков, А.А. Соломашкин, В.М. Михлин // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 7. С. 68 – 70.

12. Мартышкин А.П. Анализ обоснования предельных параметров элементов машин и получение практической формулы определения предельных отклонений параметров с заданной безотказностью / [А.П. Мартышкин, С.Е. Маскайкина, Н.И. Полуешина и др.]; // Интернет-журнал «Науковедение» Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN215.pdf> (доступ свободный).

13. Мартышкин А.П. Анализ методов оптимизации допускаемых отклонений параметров элементов машин и разработка методики их установления с заданной вероятностью безотказной наработки / [А.П. Мартышкин, С.Е. Маскайкина, Н.И. Полуешина и др.]; // Интернет-журнал «Науковедение» Т. 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/39TVN316.pdf> (доступ свободный).

14. Мартышкин А.П. Сравнительный анализ методик определения допускаемых при ремонте отклонений параметров элементов машин по техническим критериям / А.П. Мартышкин, С.Ю. Калякулин // Справочник. Инженерный журнал с приложением. № 11. - 2018. – с. 41-46.

15. Мартышкин А.П. Разработка методики оптимизации допускаемых отклонений параметров элементов машин с заданной вероятностью безотказной наработки / [А.П. Мартышкин, С.Е. Маскайкина, Н.И. Полуешина и др.]; // Журнал «Главный механик» № 7 - 2019 – С. 18 – 33.

