РЕКОМЕНДАЦИИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Р 50—95—88

10 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва
1989

gost.e-ecolog.ru

УДК 539.538:006.354 Группа Т51

РЕКОМЕНДАЦИИ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Основные положения

Р 50—95—88

ОКСТУ 0023

Настоящие рекомендации устанавливают состав, целевое назначение, область распространения, классификацию и обозначение комплекса нормативно-технических и руководящих документов по обеспечению износостойкости изделий (далее — комплекса).

Установлена классификация основного триботехнического показателя качества — износостойкости — и методика отнесения фрикционного сопряжения, его деталей и материалов к соответствующему классу. Регламентируемый показатель и соответствующая классификация распространяются на сопряжения, работающие в условиях трения скольжения, качения и качения с проскальзыванием.

Методика определения показателей износостойкости, включая вопросы испытаний и анализа эксплуатационной информации, для определенной группы однородной продукции должна быть установлена нормативно-технической документацией.

Обозначения, применяемые в настоящих рекомендациях, приведены в приложении 1.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И НАЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА

1.1. Комплекс нормативно-технических и руководящих документов по обеспечению износостойкости изделий представляет собой систему взаимосвязанных документов, регламентирующих средства и методы оценки и контроля триботехнических характеристик поверхностных слоев материалов деталей фрикционных сопряжений, а также типовых фрикционных сопряжений в целом (тормоза, сцепные фрикционные устройства, опоры скольжения и др.) с целью повышения их надежности и эффективности.

© Издательство стандартов, 1989

1.2. Задачами комплекса является установление:

системы единых показателей, методов и средств расчетной и экспериментальной оценки триботехнических свойств конструкционных и смазочных материалов;

системы конструкционных и технологических методов и средств повышения износостойкости материалов и увеличения сроков службы машин и механизмов путем улучшения триботехнических свойств их элементов;

требований к сбору и обработке информации о показателях триботехнических свойств материалов и типовых сопряжений.

1.3. Нормативно-техническими и руководящими документами комплекса являются государственные и отраслевые стандарты, стандарты предприятий, методические указания (МУ) и методические рекомендации (МР), материалы государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД).

2. СОДЕРЖАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И РУКОВОДЯЩИХ ДОКУМЕНТОВ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ДОКУМЕНТОВ КОМПЛЕКСА

2.1. Состав нормативно-технических и руководящих документов по классификационным группам должен соответствовать приведенному ниже.

Группа 0 — общие вопросы износостойкости:

структура комплекса документов;

терминология;

принципы нормирования показателей триботехнических свойств;

порядок включения нормы по триботехническим показателям в стандарты на общие требования к качеству продукции;

экономические проблемы износостойкости;

вопросы организационно-методического обеспечения износостойкости;

группа 1 — нормирование триботехнических показателей:

общие требования к номенклатуре и нормам триботехнических показателей материалов фрикционных сопряжений и машин в целом;

правила выбора и задания триботехнических показателей качества в нормативно-технической документации;

правила установления и нормы предельных состояний по триботехническим показателям;

группа 2 — испытания и контроль износостойкости:

методы оценки показателей триботехнических свойств конструкционных и смазочных материалов;

средства оценки показателей триботехнических свойств;

методы контроля технического состояния фрикционного сопряжения;

методы ускоренных ресурсных испытаний машин и их элементов;

группа 3 — методы расчета износостойкости:

методы расчетной оценки показателей триботехнических свойств фрикционных сопряжений;

методы расчета ресурса типовых фрикционных сопряжений по триботехническим показателям качества;

группа 4 — методы обеспечения износостойкости:

общие требования к конструкционным и смазочным материалам и их применению во фрикционных сопряжениях;

методы конструктивного обеспечения триботехнических показателей качества;

группа 5 — сбор и обработка информационных данных о триботехнических характеристиках:

организация сбора и обработки информационных данных формы документов по сбору и обработке информационных данных;

группы 6—9 — резерв.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ ПО ИЗНОСОСТОЙКОСТИ. КЛАССЫ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

3.1. Класс износостойкости определяют по безразмерному показателю износостойкости $И$, который рассчитывают как величину, обратную интенсивности изнашивания, по формуле

$$И = \frac{\Delta L}{\Delta H},$$

где ΔH — приращение линейного износа за наработку ΔL, измеряемую в единицах пути трения (одинаковых с ΔH).

Износостойкость определяют, считая ее постоянной на интервале пути трения ΔL.

Примеры определения пути и площади трения приведены в приложении 2.

Примечания:

1. Связи между показателем износостойкости $И$, устанавливаемые настоящим документом, и другими характеристиками изнашивания приведены в приложении 3.

2. Износостойкость определяют для конкретных условий испытаний сопряжения, характеризуемых материалом контртела и смазочным материалом, геометрией и кинематикой сопряжения, нагрузочным и скоростным режимом и прочими факторами, существенно влияющими на процесс изнашивания.

3.2. Устанавливают десять классов износостойкости от 3 до 12 включительно; каждый класс износостойкости разбивают на пять разрядов.

3.3. Для отнесения заданной износостойкости $И$ к определенному классу ее представляют в показательной или логарифмической форме:

$$И=\alpha_K \cdot 10^K, \quad \lg И=\lg\alpha_K+K,$$

где показатель K (характеристика логарифма) — целое число, обозначающее класс износостойкости по табл. 1,

Таблица 1

Классы износостойкости

Класс износостойкости, K	Интервал изменения показателя износостойкости	Класс износостойкости, K	Интервал изменения показателя износостойкости
3	$10^3 \leqslant И < 10^4$	8	$10^8 \leqslant И < 10^9$
4	$10^4 \leqslant И < 10^5$	9	$10^9 \leqslant И < 10^{10}$
5	$10^5 \leqslant И < 10^6$	10	$10^{10} \leqslant И < 10^{11}$
6	$10^6 \leqslant И < 10^7$	11	$10^{11} \leqslant И < 10^{12}$
7	$10^7 \leqslant И < 10^8$	12	$10^{12} \leqslant И < 10^{13}$

а мантисса логарифма $И$ — $\lg\alpha_K$ ($10<\alpha_K\leqslant 1$) служит для отнесения к определенному разряду в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Разряды износостойкости

Разряд износостойкости	Интервалы изменения	
	Натуральная шкала	Логарифмическая шкала
1	$1{,}0 \leqslant \alpha_K < 1{,}59$	$0 \leqslant \lg\alpha_K < 0{,}2$
2	$1{,}59 \leqslant \alpha_K < 2{,}51$	$0{,}2 \leqslant \lg\alpha_K < 0{,}4$
3	$2{,}51 \leqslant \alpha_K < 3{,}98$	$0{,}4 \leqslant \lg\alpha_K < 0{,}6$
4	$3{,}98 \leqslant \alpha_K < 6{,}31$	$0{,}6 \leqslant \lg\alpha_K < 0{,}8$
5	$6{,}31 \leqslant \alpha_K < 10{,}0$	$0{,}8 \leqslant \lg\alpha_K < 1{,}0$

Пример. Пусть износ ΔH на пути трения $\Delta L=5{,}4\cdot 10^3$м составил $7\cdot 10^{-6}$м. Показатель износостойкости $И=7{,}71\cdot 10^8$ ($\lg И=8{,}89$). Следовательно, $K=8$, $\alpha_K=7{,}71$ ($\lg\alpha_K=0{,}89$), и заданное значение $И$ относит деталь к 5-му разряду 8-го класса шкалы износостойкости.

3.4. При неравномерном распределении износа по поверхностям трения класс износостойкости определяют в установленном месте (сечении, точке) или в месте наибольшего износа. При оценке износостойкости сопряжения может быть установлено также взаимное расположение контактирующих деталей.

Методика определения класса износостойкости по результатам испытаний на износ приведена в приложении 4.

3.5. Для обозначения класса износостойкости устанавливают буквенно-цифровой символ, в котором первые два места занимают прописные буквы КИ, за которыми следует число от 3 до 12, обозначающее класс, и после косой черты — цифра от 1 до 5, соответствующая разряду в данном классе.

Пример. Символ КИ10/4 означает 4-й разряд 10-го класса износостойкости, что соответствует диапазону $3{,}98 \cdot 10^{10} \leqslant И < 6{,}31 \cdot 10^{10}$. В тех случаях, когда необходимо указывать диапазон износостойкости, выходящий за пределы одного класса или разряда, после буквенных символов (через тире) указывают два цифровых обозначения, соответствующих границам заданного интервала.

Пример. Интервалу износостойкости $1{,}72 \cdot 10^{9} \leqslant И < 5{,}23 \cdot 10^{10}$ соответствует следующее обозначение класса износостойкости: КИ 9/2—10/4.

3.6. Типичные значения износостойкости, режимы трения ряда деталей распространенных сопряжений и соответствующие им классы износостойкости приведены в приложении 5.

Примеры использования классов износостойкости на различных стадиях жизненного цикла триботехнических изделий приведены в приложении 6.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ОБОЗНАЧЕНИЯ

K — класс износостойкости;
a_K — разряд класса износостойкости;
$И$ — показатель износостойкости;
I — интенсивность изнашивания;
γ — скорость изнашивания;
E — энергетический показатель износа;
$Ф$ — фактор износа;
H — линейный износ;
H_0 — износ за время приработки;
M — массовый износ детали;
A_a — площадь поверхности контакта;
$A_т$ — площадь поверхности трения;
τ — наработка;
t — время относительного движения деталей сопряжения;
t_c — время скольжения в фиксированной точке поверхности трения;
t_0 — период движения;
L — путь трения;
$L_к$ — путь трения качения;
L_0 — путь трения за время приработки;
l_i — путь трения i-й детали за цикл;
W — работа трения;
F — сила трения;
$M_т$ — момент на ведущем звене;
q — давление;
v — скорость скольжения;
ω — угловая скорость вращения детали;
λ — коэффициент скольжения;
N_0 — число периодов движения (при вращении — число оборотов);
ϱ — плотность материала;
$\varrho_д$ — текущий радиус поверхности трения детали;
h — ход ползуна;
$d_т$ — ширина дорожки трения;
B — продольный размер детали;
α_c — угловой размер сегмента торцевой пары трения;
z_i — число сегментов в торцевой паре;
r — радиус детали;
b_a — полуширина площадки контакта;
φ_0 — полуугол контакта данного элемента;
$\varkappa$ — коэффициент проскальзывания;
X, $У$ — координаты поверхности трения;
n — общее число измерений;
b — средний логарифм износостойкости;
S^2 — дисперсия логарифма износостойкости;
γ, P — значения вероятности;
$X_в$, $X_н$ — верхний и нижний допустимые пределы логарифма износостойкости;
t, t_∞^P — коэффициенты вероятностного распределения;
z_γ — γ-квантиль нормированного нормального распределения;
V_R — коэффициент вариации ресурса;
R — ресурс изделия (км);
R_γ — γ-процентный ресурс;

σ_R — стандартное отклонение ресурса;

Δz — приращение величины z;

X — логарифм показателя износостойкости.

Индексы

i — номер детали;

h — величина при измерении линейного износа H;

м — величина при измерении массового износа M;

Σ — величина, относящаяся к сопряжению в целом;

п — величина, относящаяся к предельному значению параметра.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Справочное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТИ И ПЛОЩАДИ ТРЕНИЯ

Силовое взаимодействие трущихся тел происходит на поверхности контакта с площадью A_0. Область контакта, перемещаясь в процессе скольжения элементов пары трения по их поверхностям, ометает на каждой из них участок площадью $A_{\text{т}i}$ ($i=1, 2$), называемый поверхностью трения.

В общем случае $A_{\text{т}1} \neq A_{\text{т}2}$ и $A_{\text{т}i} \geqslant A_{\text{а}}$ (см. черт. 1), где $A_{\text{а}}$ — геометрический параметр сопряжения, а $A_{\text{т}i}$ — параметр его i-го элемента. Значения $A_{\text{а}}$, $A_{\text{т}i}$ определяются геометрией и кинематикой сопряжения.

Износ рассматривают как функцию наработки, в качестве которой используют время скольжения $t_{\text{с}}$, работу W и путь L трения. В качестве основного параметра наработки принимают путь трения L, представляющий собой перемещение некоторой точки истираемого тела по поверхности сопряженного с ним за время нахождения этой точки в контакте. Связь пути трения ΔL с остальными параметрами наработки при скольжении определяют соотношением

$$\Delta L = v\Delta t_{\text{с}} = \frac{\Delta W}{F}, \qquad (1)$$

где v — средняя скорость скольжения данной точки за время скольжения $\Delta t_{\text{с}}$; F — среднее значение силы трения. Поскольку время скольжения $\Delta t_{\text{с}}$ составляет некоторую долю в общем времени относительного перемещения Δt, то $\Delta L = v\lambda\Delta t$, где $\lambda = \Delta t_{\text{с}}/\Delta t \leqslant 1$ — коэффициент скольжения.

Параметры наработки сопряжения в целом и каждой из деталей, его образующих, в общем случае не одинаковы, как может быть неодинаковой и наработка в разных точках одной поверхности трения.

Ниже рассмотрено определение пути трения на нескольких характерных типах сопряжений с плоскопараллельным движением тел, обладающих, как правило, периодичностью относительных перемещений. Поскольку обычно интерес представляет путь трения ΔL за время скольжения $\Delta t_{\text{с}}$, существенно превосходящее период движения t_0, то величину $l = vt_0$ удобно принимать за единицу. Таким образом, $\Delta L = l\Delta N_0$, где N_0 — число периодов ($N_0 \gg 1$).

На соответствующих чертежах приведены схемы сопряжений, их основные размеры и кинематические характеристики. Для каждой детали построены эпюры путей трения — графики, абсциссы которых представляют собой характерные размеры поверхности трения в направлении скольжения, а ординатами яв-

ляются значения пути трения в данной точке. Для пар плоскопараллельного движения коэффициенты скольжения каждой детали равны: $\lambda_i = A_a / A_{Ti}$ $(i = 1, 2)$.

Примечание. Для случая качения помимо пути трения скольжения, который может быть равен нулю при качении без проскальзывания, рассматривают путь трения качения L_{Ki}, рассчитываемый для i-й детали за время качения $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ по формуле

$$\Delta L_{K\,i} = \omega_i R_i \Delta t, \qquad (2)$$

где ω_i — средняя за Δt угловая скорость вращения детали, R_i — радиус i-й детали; $i = 1, 2$.

Пример 1. Пара поступательного плоскопараллельного движения (черт. 1).

Типичные примеры узлов такого типа: различные направляющие, кулисные и мальтийские механизмы, сопряжения плунжер-гильза и т. д.

На черт. 1 через h обозначен ход ползуна (деталь *1*) — его перемещение относительно станины (деталь *2*) за один полупериод.

Номинальная площадь контакта:

$$A_a = B_1 d_T,$$

где d_T — характерный размер сопряжения в плоскости, перпендикулярной плоскости движения (ширина направляющих, длина окружности цилиндра и т. д.), в данном случае ширина дорожки трения;

X — текущее перемещение детали *1* относительно детали *2* ($|X| \leqslant h$), измеряемого вдоль оси O_2X_2 (см. черт. 1) от точки O_2 детали *2* до точки O_1 детали *1*.

Площади трения: $A_{T1} = B_1 d_T$.

Коэффициенты скольжения: $\lambda_1 = 1$; $\lambda_2 = 1/(1 + h/B_1)$;

При определении эпюры трения вводят неподвижную систему отсчета, в которой каждой точке поверхности соответствует определенное относительное смещение сопряженного тела. Эпюры путей трения при $B_1 < h < B_2$ приведены на черт. 1. При $B_2 \gg B_1$ влияние концевых эффектов незначительно и $l_1 \simeq 2h$, $l_2 = 2B_1$. Например, для сопряжения «поршневое кольцо — гильза цилиндра» за один ход поршня путь трения кольца считают равным длине хода поршня, а путь трения гильзы — высоте контактного пояска поршневого кольца.

Пример 2. Торцевая пара трения.

Среди таких узлов: подпятники, фрикционные муфты, дисковые тормоза, торцевые уплотнения и т. д. (черт. 2):

Поверхность трения одного из тел (деталь *1*) набрана из сегментов с центральным углом α_c каждый. Число сегментов Z_c, причем $Z_c \alpha_c \leqslant 2\pi$. При $Z_c \alpha_c = 2\pi$ схема обращается в пару торцевого трения двух сплошных дисков.

Номинальная площадь контакта:

$$A_a = \frac{\alpha_c Z_c}{2} (R_c^2 - r_c^2).$$

Площадь трения:

$$A_{T1} = \frac{\alpha_c Z_c}{2} (R_c^2 - r_c^2),$$

$$A_{T2} = \pi (R_c^2 - r_c^2).$$

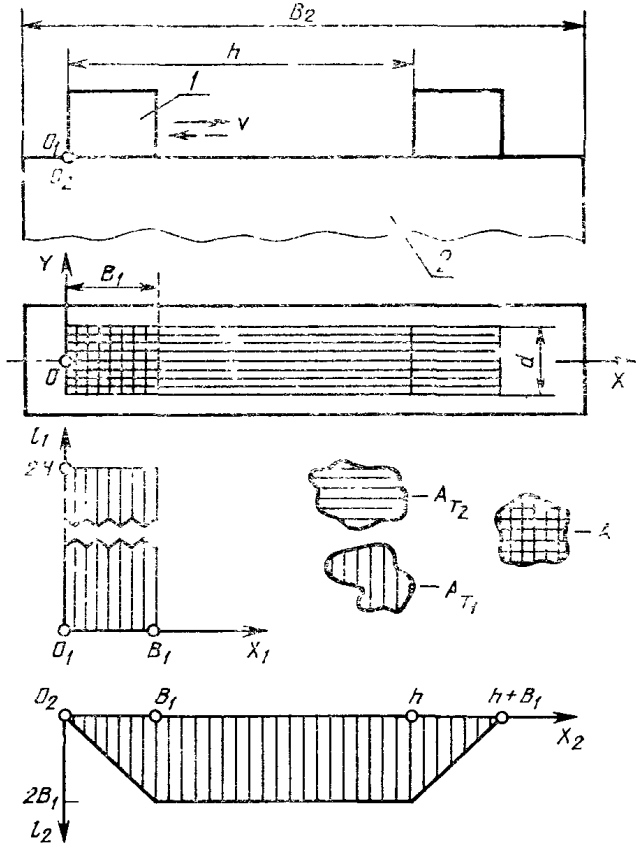
Коэффициенты скольжения: $\lambda_1 = 1$; $\lambda_2 = \alpha_c Z_c / 2\pi$.

Эпюры путей трения l_1 и l_2 показаны на черт. 2.

$$l_1 = 2\pi\rho_д, \quad l_2 = Z_c \alpha_c \rho_д, \quad l_2 / l_1 = \lambda_2 \quad (r_c \leqslant \rho_д \leqslant R_c).$$

При близких значениях радиусов R_c и r_c эпюру L можно принять равномерной.

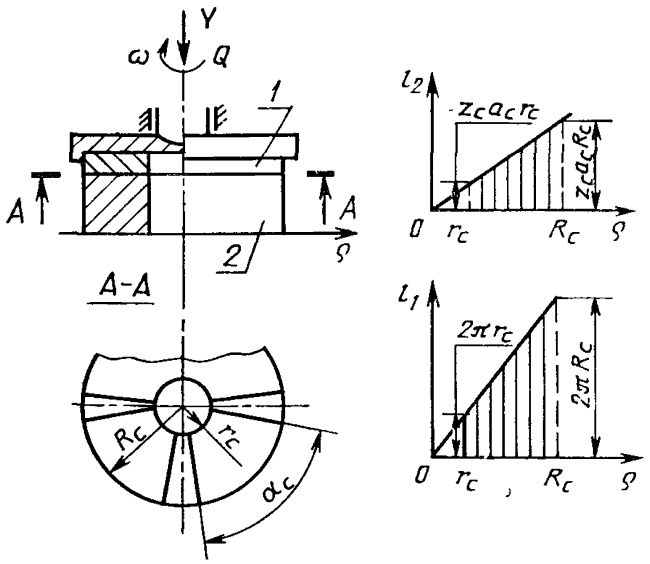
Эскиз сопряжения и эпюры путей трения деталей пары возвратно-поступательного движения за один период движения



1 — ползун (деталь *1*); *2* — станина (деталь *2*)

Черт. 1

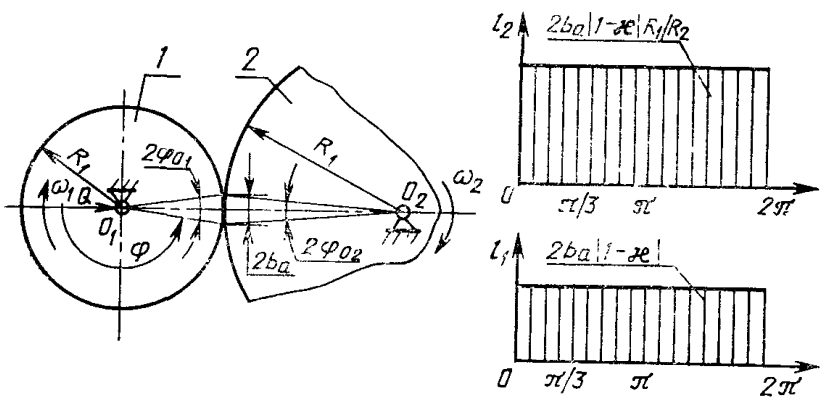
Эскиз сопряжения и эпюры путей трения деталей пары торцевого трения



1—подвижный диск с наборными сегментами (деталь *1*); *2*—базовая деталь (деталь *2*)

Черт. 2

Эскиз сопряжения и эпюры путей трения деталей пары вращательного относительного движения с внешним контактом цилиндров вдоль образующих



1—ведущий ролик (деталь *1*); *2*—ведомый ролик (деталь *2*)

Черт. 3

Пример 3. Пара вращательного движения при внешнем контакте цилиндров вдоль образующих (черт. 3).

К подобным сопряжениям относятся кулачковые механизмы, внешние цилиндрические зубчатые зацепления, цепные цевочные передачи и т. д.

Особенностью таких сопряжений является локальный характер контакта, вследствие которого номинальная площадь оказывается функцией нагрузки. Площадь поверхности контакта A_a рассчитывают по формуле

$$A_a=2\,b_a d_т\simeq 2\,R_1\varphi_{01}d_т=2\,R_2\varphi_{02}d_т,$$

где b_a — полуширина площадки контакта; $\varphi_{0i}\,(i=1,2)$ — полуугол контакта, соответствующий данному элементу пары трения;

$$b_a=R_1\sin\varphi_{01}=R_2\sin\varphi_{02},$$

или при малых значениях полуугла контакта φ_{0i}

$$b_a\simeq R_1\varphi_{01}=R_2\varphi_{02}.$$

$d_т$ — размер, определенный, как указано в п. 1 настоящего приложения (в данном случае — длина образующей цилиндров).

Характерные размеры площадки контакта определяют из силового расчета по формулам теории упругости или из эксперимента; в данном приложении эти размеры предполагаются известными.

Площадь трения: $A_{т\,i}=2\pi R_i d_т$.

Коэффициенты скольжения: $\lambda_i=b_a/\pi R_i\cong\varphi_{0i}/\pi$.

Эпюры путей трения за один оборот ролика 1 приведены на черт. 3, где $\varkappa=\omega_2R_2/(\omega_1R_1)$ — коэффициент проскальзывания; l_1, l_2 — пути трения за один оборот.

Пример 4. Пара вращательного относительного движения при внутреннем контакте цилиндрических тел.

К этому типу сопряжений относятся пары: вал-втулка, внутренние зубчатые зацепления, тормозные элементы колодочных тормозов и т. д.

На черт. 4 представлен случай контакта деталей с одинаковыми радиусами кривизны R. При этом

$$A_a=2\,R\varphi_0 d_т=2\,b_a d_т,$$

$$A_{т\,1}=2\,\pi\,Rd_т,\quad A_{т2}=A_a,$$

где $d_т$ — длина подшипника; λ_i — коэффициенты скольжения:

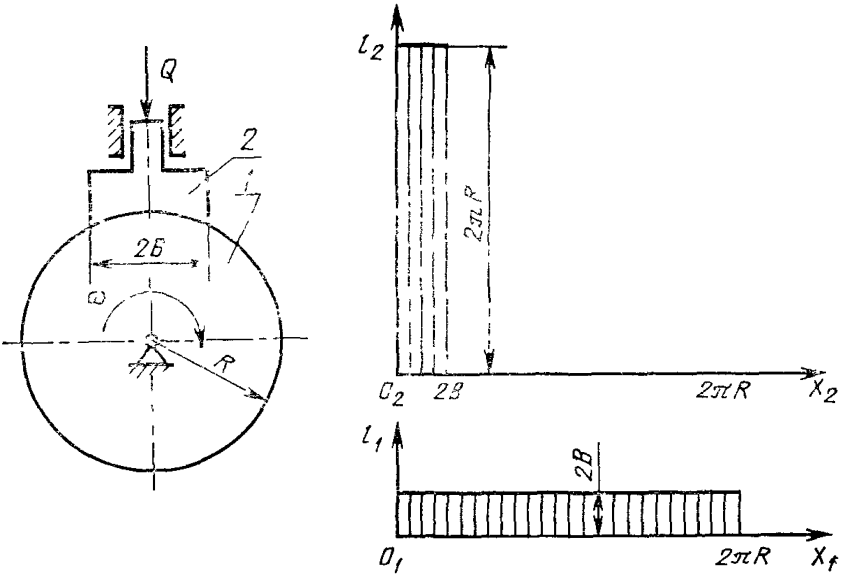
$$\lambda_1=b_a/\pi\,R,\quad \lambda_2=1.$$

Эпюры путей трения за полный оборот вала и схема сопряжения приведены на черт. 4. Из эпюр следует, что путь трения распределен по окружности вращающегося вала равномерно. При этом

$$l_1\ll l_2,\quad l_1/l_2=\lambda_1.$$

В то же время у втулки относительно большой путь трения локализован на дуге контакта $2b_a=2R\varphi_0$, что и заставляет в ряде случаев переходить к так называемым обратным парам, в которых материал вала (деталь *1*) обладает меньшей износостойкостью, чем материал втулки (деталь *2*). Вследствие отмеченных геометрических особенностей сопряжения нарастание радиального зазора может идти медленнее по сравнению с прямой парой (парой, составленной из тех же материалов, в которой повышенной относительной износостойкостью обладает вал).

Эскиз сопряжения и эпюры путей трения деталей пары вращательного движения с внутренним контактом цилиндров вдоль образующих



1 — вал (деталь 1); *2* — колодка (деталь 2)

Черт. 4

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЕМ ИЗНОСА И ДРУГИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ИЗНАШИВАНИЯ

Наиболее распространены линейные и массовые характеристики изнашивания деталей и сопряжений, определяемые как функция наработки τ, в качестве которой используют продолжительность скольжения (наработку t_c) в единицах времени, работу W и путь L трения.

Линейный износ детали H (x, y, τ) определяют как изменение ее линейного размера по направлению нормали к поверхности трения в точке (x, y) за наработку τ.

Массовый износ детали M (τ) является интегральной характеристикой, определяемой потерей массы детали за наработку τ.

Линейный износ сопряжения определяют через изменение геометрических параметров взаимного положения контактирующих в сопряжении деталей. В простейшем случае линейный износ сопряжения определяют при фиксированном взаимном положении элементов пары трения как сумму их линейных износов, измеренных по общей нормали к поверхностям трения в точке касания:

$$H_{\Sigma}=H_1+H_2. \qquad (3)$$

Массовый износ сопряжения равен сумме массовых износов его деталей за фиксированную наработку.

Для оценки удельных параметров износа введены следующие основные характеристики: интенсивность изнашивания I, показатель износостойкости $И$, скорость изнашивания γ, энергетический показатель износа E, и фактор износа $Ф$, определяющие соотношения для которых приведены в табл. 3.

Предпочтительными являются линейные характеристики I, $И$ в силу своей безразмерности.

Для случаев качения с проскальзыванием определение удельных характеристик изнашивания аналогично рассмотренным при скольжении.

Например:

$$I_{к}=\frac{\Delta H}{\Delta L_{к}},\quad E_{к}=\frac{\Delta H}{\Delta W_{к}}, \qquad (4)$$

где $\Delta L_{к}$ — по приложению 2 настоящего документа, а работа трения качения $\Delta W_{к}=\frac{M_{т}}{R}\Delta L_{к}$, $M_{т}$ — тяговый или тормозной момент на ведущем звене.

Взаимосвязи между линейными и массовыми удельными характеристиками изнашивания по табл. 3 применимы как для оценки характеристик изнашивания детали, так и сопряжения, если определить площадь трения сопряжения A_{Σ} по формуле

$$A_{\Sigma}=A_{т_1}+A_{т_2}. \qquad (5)$$

и параметры наработки сопряжения в случае скольжения по формулам:

$$\Delta L_{\Sigma}=v\Delta t, \qquad (6)$$

$$\Delta W_{\Sigma}=F\Delta L_{\Sigma}, \qquad (7)$$

и $\Delta L_{к}$ в случае качения

$$\Delta L_{к}=(\omega_1 R_1+\omega_2 R_2)\Delta t. \qquad (8)$$

Тогда интенсивность изнашивания I_Σ рассчитывают по формуле

$$I_\Sigma = \lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2, \qquad (9)$$

где

$$\lambda_i = \Delta L_i / \Delta L_\Sigma.$$

Износостойкость сопряжения равна

$$И_\Sigma = \frac{И_1 И_2}{\lambda_1 И_1 + \lambda_2 И_2}. \qquad (10)$$

Таблица 3

Количественные характеристики изнашивания

Способ выражения	линейные					массовые				
	$И$	I	Φ^h	E^h	γ^h	$И^м$	$I^м$	$\Phi^м$	$E^м$	$\gamma^м$
По определению	$\frac{\Delta L}{\Delta H}$	$\frac{\Delta H}{\Delta L}$	$\frac{\Delta H}{q\Delta L}$	$\frac{\Delta H}{\Delta W}$	$\frac{\Delta H}{\Delta t}$	$\frac{A_т \Delta L}{\Delta M}$	$\frac{\Delta M}{A_т \Delta L}$	$\frac{\Delta M}{A_т q \Delta L}$	$\frac{\Delta M}{A_т \Delta W}$	$\frac{\Delta M}{A_т \Delta t}$
Через $И$	$И$	$\frac{1}{И}$	$\frac{1}{Иq}$	$\frac{1}{ИF}$	$\frac{v}{И}$	$\frac{И}{\rho}$	$\frac{\rho}{И}$	$\frac{\rho}{Иq}$	$\frac{\rho}{ИF}$	$\frac{\rho v}{И}$
Через I	$\frac{1}{I}$	I	$\frac{I}{q}$	$\frac{I}{F}$	Iv	$\frac{1}{I\rho}$	$I\rho$	$\frac{I\rho}{q}$	$\frac{I\rho}{F}$	$I\rho v$
Через Φ^h	$\frac{1}{\Phi^h q}$	$\Phi^h q$	Φ^h	$\frac{q}{\Phi^h F}$	$\Phi^h q v$	$\frac{1}{\Phi^h q \rho}$	$\Phi^h q \rho$	$\Phi^h \rho$	$\frac{\Phi^h q \rho}{F}$	$\Phi^h q \rho v$
Через E^h	$\frac{1}{E^h F}$	$E^h F$	$\frac{E^h F}{q}$	E^h	$E^h F v$	$\frac{1}{E^h F \rho}$	$E^h F \rho$	$\frac{E^h F \rho}{q}$	$E^h \rho$	$E^h F v \rho$
Через γ^h	$\frac{v}{\gamma^h}$	$\frac{\gamma^h}{v}$	$\frac{\gamma^h}{qv}$	$\frac{\gamma^h}{Fv}$	γ^h	$\frac{v}{\rho \gamma^h}$	$\frac{\rho \gamma^h}{v}$	$\frac{\rho \gamma^h}{qv}$	$\frac{\rho \gamma^h}{Fv}$	$\rho \gamma^h$
Через $И^м$	$И^м \rho$	$\frac{1}{И^м \rho}$	$\frac{\rho}{q И^м}$	$\frac{\rho}{F И^м}$	$\frac{\rho v}{И^м}$	$И^м$	$\frac{1}{И^м}$	$\frac{1}{q И^м}$	$\frac{1}{F И^м}$	$\frac{v}{И^м}$
Через $I^м$	$\frac{\rho}{I^м}$	$\frac{I^м}{\rho}$	$\frac{I^м}{\rho q}$	$\frac{I^м}{\rho F}$	$\frac{v I^м}{\rho}$	$\frac{1}{I^м}$	$I^м$	$\frac{I^м}{q}$	$\frac{I^м}{F}$	$I^м v$
Через $\Phi^м$	$\frac{\rho q}{\Phi^м}$	$\frac{\Phi^м}{\rho q}$	$\frac{\Phi^м}{\rho}$	$\frac{\Phi^м q}{\rho F}$	$\frac{\Phi^м q v}{\rho}$	$\frac{q}{\Phi^м}$	$\frac{\Phi^м}{q}$	$\Phi^м$	$\frac{\Phi^м q}{F}$	$\Phi^м q v$
Через $E^м$	$\frac{\rho}{F E^м}$	$\frac{F E^м}{\rho}$	$\frac{F E^м}{q \rho}$	$\frac{E^м}{\rho}$	$\frac{F v E^м}{\rho}$	$\frac{1}{F E^м}$	$F E^м$	$\frac{F E^м}{q}$	$E^м$	$F v E^м$
Через $\gamma^м$	$\frac{\rho v}{\gamma^м}$	$\frac{\gamma^м}{\rho v}$	$\frac{\gamma^м}{\rho v q}$	$\frac{\gamma^м}{\rho v F}$	$\frac{\gamma^м}{\rho}$	$\frac{v}{\gamma^м}$	$\frac{\gamma^м}{v}$	$\frac{\gamma^м}{vq}$	$\frac{\gamma^м}{Fv}$	$\gamma^м$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОС

1. Методика устанавливает процедуру определения класса износостойкости отдельного триботехнического объекта либо представительной партии объектов в соответствии со стандартной шкалой износостойкости по экспериментальным данным об износе, полученным в регламентированных (по давлению, скорости скольжения, продолжительности и т. д.) условиях испытаний.

2. Объектом испытаний могут быть материалы, детали и сопряжения.

При испытании на износ отдельного объекта испытания практически не должны влиять на ресурс.

3. В качестве исходных данных для определения класса износостойкости используют значения наработки по пути трения L и соответствующие значения H износа (по п. 3.4 настоящего стандарта).

4. По данным п. 3 настоящего приложения оценивают статистические характеристики логарифмической износостойкости $X=\lg И$ — среднее b и дисперсию S^2

$$b=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n} X_i,$$

$$S^2=\frac{n}{n-1}\left(\frac{1}{n}\sum_{1}^{n} X_i^2-b^2\right), \qquad (11)$$

где n — общее количество результатов измерений.

5. Вычисляют допустимые пределы $X_н$ и $X_в$ для логарифмической износостойкости, определяющие интервал, в который практически достоверно, т. е. с вероятностью γ, близкой к 1, должна попасть основная доля измерений, не меньшая заданного предела P.

Примечание. Значения γ и P задают в зависимости от полноты априорной информации о законе распределения износостойкости и принятого уровня ответственности изделия.

Рекомендуется:

при произвольном законе распределения величины $X=\lg И$:

1. для рядовых триботехнических объектов:

$\gamma=0{,}90$; $P=0{,}85\div0{,}90$;

2. для ответственных:

$\gamma=0{,}99$; $P=0{,}90\div0{,}95$.

Допустимые пределы $X_н=X_1$, $X_в=X_n$,
где X_1 и X_n — крайние значения величины в выборке из n результатов испытаний, а n при заданных γ и P находят по табл. 4.

Таблица 4

γ	P	n
0,90	0,85	25
	0,90	40
0,99	0,90	60
	0,95	130

при нормальном законе распределения величины $X=\lg И$:

1. для рядовых триботехнических объектов:

$$\gamma=0{,}99; \qquad P=0{,}90;$$

2. для ответственных:

$$\gamma=0{,}999; \qquad P=0{,}99.$$

Допустимые пределы величины X вычисляют по формулам:

$$X_н=b-tS, \quad X_в=b+tS,$$

где b и S определены в п. 4 настоящего приложения, а t вычисляют по формуле

$$t=t_\infty^P\left(1+\frac{Z_\gamma}{\sqrt{12n}}+\frac{5\,Z_\gamma^2+10}{12\,n}\right).$$

Коэффициент вероятностного распределения t_∞^P и квантиль Z_γ находят по табл. 5.

Таблица 5

Минимально допустимая доля измерений в интервале P	t_∞^P	Уровень надежности γ	Z_γ
0,90	1,65	0,990	2,33
0,99	2,58	0,999	3,72

Значения коэффициента t в зависимости от объема выборки приведены в табл. 6 (столбец I — для рядовых триботехнических объектов, столбец II — для ответственных).

Таблица 6

n	t		n	t		n	t	
	I	II		I	II		I	II
2	6,13	15,99	7	3,41	7,58	20	2,51	4,95
3	4,23	12,17	8	3,25	7,11	25	2,40	4,62
4	4,29	10,23	9	3,12	6,73	30	2,32	4,39
5	3,89	9,02	10	3,02	6,43	40	2,21	4,08
6	3,61	8,19	11	2,69	5,47	50	2,14	3,88
						100	1,96	3,43

6. После определения в соответствии с п. 5 настоящего приложения допустимых пределов аттестуемому объекту присваивают обозначение в соответствии с настоящим стандартом.

Представляют $X_н$ и $X_в$ в показательной форме

$$10^{X_н}=И_н=\alpha_K^н\cdot 10^{K_н}, \quad 10^{X_в}=И_в=\alpha_K^в\cdot 10^{K_в}.$$

Если $K_н=K_в=K$, то триботехнический объект относят к одному классу K. В противном случае ему соответствует интервальное обозначение износостойкости. Разряды присваивают в зависимости от значений α_K в соответствии с табл. 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Справочное

Таблица 7

Износостойкость распространенных деталей триботехнических сопряжений

Узел трения, тип машины	Изнашиваемая деталь, ее материал	Условия изнашивания		Показатель износостойкости	Класс износостойкости
		Контртело, материал	Параметры нагружения, среда		
1. Цилиндропоршневая группа двигателя автомобиля	Поршневое кольцо Чугун серый	Гильза цилиндра Чугун серый	$v=7$—20 м/с; масло М10Г$_1$	10^{12}—10^{11}	КИ12—11
	Гильза цилиндра Чугун серый	Поршневое кольцо Чугун серый		10^{11}	КИ11
2. Цилиндропоршневая группа компрессора	Поршневое кольцо Графит (АО — 1500)	Гильза цилиндра Чугун серый	Влажная двуокись углерода; $q=0{,}4$ МПа; $v=3$ м/с	$2\cdot10^{10}$	КИ10/2
			$q=8$ МПа; $v=1{,}2$ м/с	$2\cdot10^{9}$	КИ9/2
3. Токарный станок	Направляющие станины Чугун СЧ21—40	Направляющие салазок суппорта Чугун СЧ21—40	$q=0{,}05$—$0{,}5$ МПа; $v=0{,}01$ м/с; Масло индустриальное	10^{10}—10^{9}	КИ10^{9}

Продолжение табл. 7

Узел трения, тип машины	Изнашиваемая деталь, ее материал	Условия изнашивания		Показатель износостойкости	Класс износостойкости
		Контртело, материал	Параметры нагружения, среда,		
4. Колодочный тормоз	Колодка тормозная Фрикционная пластмасса	Бандаж колеса или барабан Специальный чугун	$q=1$ МПа; $v=10$ м/с	10^7—10^6	КИ7—6
5. Дисковый тормоз	Тормозной элемент Фрикционная пластмасса	Тормозной диск Чугун легированный	$q=2{,}5$ МПа; $v=25$ м/с	10^{10}—10^6	КИ10—6
6. Камерный тормоз	Тормозная накладка Фрикционная пластмасса	Барабан. Сталь углеродистая	$q=1$ МПа; $v=15$ м/с	10^9—10^6	КИ9—6
7. Подшипник скольжения	Вал-сталь с твердым смазочным покрытием (ТСП) типа ВНИИНП	Втулка Сталь углеродистая	Вакуум 10^{-8} Температура 373 К. $q=20$ МПа; $v=0{,}5$ м/с	10^8—10^7	КИ8—7
8. Зубчатые передачи мелкомодульные	Шестерня из металлокерамика ВАМК	Зубчатое колесо Металлокерамика типа ВАМК	Вакуум 10^{-8} Температура 473 К $q=1$ ГПа; $v=11$ м/с	10^8—10^7	КИ8—7
	Шестерня. Сталь с ТСП типа ВНИИНП	Зубчатое колесо Сталь с ТСП типа ВНИИНП		10^6—10^5	КИ6—5

Продолжение табл. 7

Узел трения, тип машины	Изнашиваемая деталь, ее материал	Условия изнашивания		Показатель износостойкости	Класс износостойкости
		Контртело, материал	Параметры нагружения, среда		
9. Торцевые уплотнения скважного насоса	Уплотнение. МГФФ	Сталь углеродистая легированная	Вода $q=1$ МПа; $v=3$ м/с	$2 \cdot 10^9$	КИ9/2
	2П-1000-Ф	Силицированный графит	$q=5$ МПа; $v=3$ м/с	$2 \cdot 10^{10}$	КИ10/2
10. Резцы (точение на станке токарном)	Твердый сплав ВК-8 Минералокерамика ЦМ-332	Сталь 0 Сталь углеродистая	$q=400$ МПа; $v=2$ м/с;	$2 \cdot 10^7$	КИ7/2
			смазочная охл. жидкость (СОЖ)	$2 \cdot 10^5$	КИ5/2
11. Мерительный инструмент	Калибр-скоба с измерительным наконечником из сплава ВК Резьбовой калибр Сталь У10А термообработанная	Вал Сталь ШХ-15	$q=40$ МПа	$1{,}4 \cdot 10^{10}$	КИ10/1
		Гайка Чугун СЧ 12—28		$5 \cdot 10^9$	КИ9/4

Обозначения: v — скорость скольжения;
q — давление.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рекомендуемое

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛАССОВ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ (КИ) НА РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

Данные о КИ триботехнических изделий позволяют дать приближенное решение ряда важных практических задач Например:

обеспечение при проектировании необходимой надежности изделия путем выбора конструкции и материала деталей сопряжения на основе информации об их КИ,

текущий контроль стабильности технологического процесса и выходной контроль качества изделий;

назначение межремонтных сроков службы, оценка остаточного ресурса или необходимого количества запасных частей по заданным паспортным значениям КИ изделий, поступивших в эксплуатацию и т. д.

Таким образом охвачен весь жизненный цикл триботехнического изделия от проектирования до ремонта.

Пример 1

Выходной контроль качества и регулирования стабильности технологических процессов

На стадии выходного контроля триботехнической продукции оценку качества проводят путем сравнения результатов выборочных проверок с нормативно заданными КИ как выходного уровня качества.

При контроле стабильности технологического процесса в качестве его параметров задают значения b и S^2 (см. приложение 4 настоящего документа) с соответствующими контрольными границами по каждому из них. Признаком нормального хода процесса служит одновременное выполнение неравенств.

$$X^- < b < X^+, \quad 0 < S^2 < d^2,$$

где X^- и X^+ — нижняя и верхняя границы параметра b; 0 и d^2 — контрольные границы параметра S^2.

Общая схема контроля стабильности процесса и выходного контроля качества продукции должна соответствовать стандарту ГОСТ 20736—75.

Пример 2

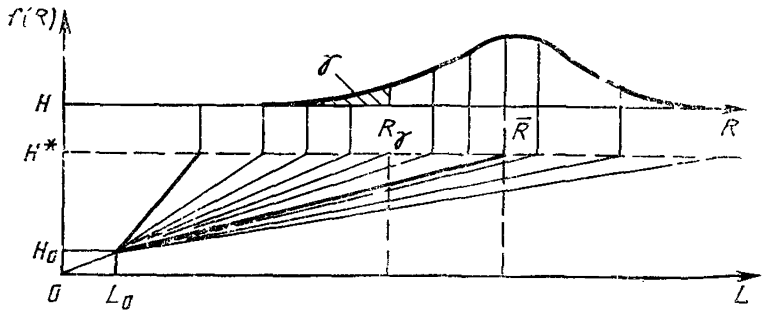
Назначение КИ изделия по заданным ресурсным характеристикам на стадии проектирования

Пусть по техническому заданию на проектируемое изделие задан средний $\overline{R}$ и γ-процентный ресурс R_γ в километрах пути трения.

Необходимо назначить КИ, обеспечивающий эти показатели.

Рассмотрим изнашивание, как веерный случайный процесс, при котором режим нагружения и, соответственно, интенсивность изнашивания каждого изделия можно считать постоянными в течение всего периода работы. Однако они случайно меняются от изделия к изделию. Эта случайная изменчивость по множеству изделий может быть связана как с погрешностями технологии изготовления, так и со спецификой условий эксплуатации каждого из них.

Если, как обычно, приработочный износ H_0 и соответствующий ему путь трения L_0 малы и имеют малое рассеяние, которым можно пренебречь, по сравнению с ресурсными характеристиками, то ансамбль реализаций изнашивания представляет собой набор прямых со случайными угловыми коэффициентами I и полюсом в точке (H_0, L_0), черт. 5.



Черт. 5

Уравнение этих прямых:

$$H\ (L_0)=H_0+I\ (L-L_0). \qquad (12)$$

Если $H(L_п)=H_п$ — износ, соответствующий предельному состоянию сопряжения, то $L_п$, рассчитанный по формуле

$$L_п=R=L_0+И\ (H_п-H_0), \qquad (13)$$

его ресурс, который также в силу изложенного ранее является случайной величиной.

Пусть известно, что распределение ресурса близко к нормальному. Тогда значение логарифма износостойкости (см. приложение 3), рассчитанное по формуле

$$X=\lg И=\lg\frac{R-L_0}{H_п-H_0},$$

распределено по закону, который можно назвать показательно-нормальным, поскольку показательная функция от $X—И=10^x$ имеет нормальное распределение с параметрами:

$$И_0=10^{X_0},\quad X_0=\lg\frac{\overline{R}-L_0}{H_п-H_0}\simeq b, \qquad (14)$$

$$\sigma=\frac{\sigma_R}{H_п-H_0}=2{,}305\cdot S\cdot 10^{-b}, \qquad (15)$$

где стандартное отклонение ресурса σ_R находят по заданным значениям $\overline{R}$ и R_γ из выражения:

$$\sigma_R=\frac{R_\gamma-\overline{R}}{Z_\gamma},$$

а значение Z_γ определяют по статистическим таблицам как γ-процентный квантиль нормированного нормального распределения.

Далее по принятой с учетом ответственности сопряжения толерантной доле P (см. приложение 2) находят с помощью статистических таблиц $P/2$ и $0{,}5 + P/2$ — процентные точки нормального распределения с параметрами, определенными по формулам (14) и (15). Эти значения принимают соответственно равными $10^{X_Н}$ и $10^{X_В}$, откуда находят $X_Н$ и $X_В$. Затем по пп. 5—7 приложения 4 настоящего документа получают решение поставленной задачи.

Можно отметить, что согласно полученным результатам КИ оказывается зависящим помимо заданных показателей надежности $\overline{R}$ и R_γ еще и от допустимого износа $H_п$ и параметров приработки H_0, L_0 таким образом, что чем большая доля допуска размера под износ расходуется на приработочной стадии, тем жестче требования к триботехническим характеристикам проектируемого изделия (выше требуемый КИ).

Пример 3

Назначение объема хранения запасных элементов для обеспечения эксплуатационной надежности

В техническом паспорте машины, поступившей в рядовую эксплуатацию, указан КИ некоторого ответственного узла трения, невосстанавливаемого в эксплуатационных условиях при достижении предельного износа сопряжения $H_п$ Нужно оценить количество запасных изделий, необходимых для бесперебойной работы машины в течение периода L ($L \gg \alpha \cdot 10^N \cdot H_п$), считая, что замены узла производятся мгновенно.

Пусть аналогично предыдущему примеру справедлива веерная модель изнашивания триботехнического сопряжения. Решение задачи получают, определив параметры закона распределения ресурса сопряжения в гауссовом приближении и используя их затем для получения статистических характеристик случайного процесса последовательных замен отказавших изделий. Дешифровкой обозначений КИ находят толерантные пределы, соответствующие принятому для данного изделия уровню ответственности параметров P, γ, t (сведения о них следует приводить при указании КИ наряду со сведениями о типе испытательного режима, в котором КИ установлен) (см. приложение 4):

$$X_Н = K_Н + \lg \alpha_Н, \quad X_В = K_В + \lg \alpha_В.$$

Отсюда

$$b = \overline{X} = \frac{1}{2}(X_Н + X_В), \quad S = \frac{1}{2t}(X_В - X_Н). \qquad (16)$$

Очевидно, определение статистических параметров ресурса является в данном случае задачей, обратной по отношению к рассмотренной в п. 2 настоящего приложения, и при показательно-нормальном распределении случайной величины X с параметрами X_0 и σ ресурс имеет нормальное распределение с параметрами $\overline{R}$ и σ_R, рассчитанными по формулам:

$$\overline{R} = 10^{X_0}(H_п - H_0) + L_0 \simeq 10^b (H_п - H_0) + L_0, \qquad (17)$$

$$\sigma_R = \sigma (H_п - H_0) = 2{,}303 \cdot S \cdot 10^b (H_п - H_0), \qquad (18)$$

и коэффициентом вариации V_R, рассчитанным по формуле

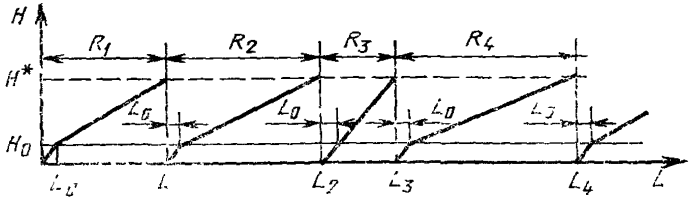
$$V_R = \sigma_R / \overline{R}.$$

В процессе эксплуатации первое изделие, проработав случайное время R_1, заменяется новым, которое в свою очередь подлежит замене по истечении свое-

го ресурса R_2 и т. д. Моменты замен L_i изделий, восстанавливающие работоспособность машины, рассчитанные по формуле

$$L_1=R_1,\ L_2=R_1+R_2,\ \ldots,\ L_i=\sum_{1}^{i} R_j,$$

образуют при некоторых естественных предположениях точечный случайный процесс, именуемый процессом восстановления, одна реализация которого показана на черт. 6.



Черт. 6

Для процесса восстановления число замен n за фиксированную наработку L имеет при достаточно больших L (в данном случае при $L \gg 10^b H_{\text{п}}$) приближенно нормальное распределение со средним $\bar{n}(L)$ и дисперсией $\sigma_n^2(L)$, определяемым по формулам:

$$\bar{n}(L) \simeq \frac{L}{\bar{R}} = \frac{L}{10^{X_0}(H_{\text{п}}-H_0)-L_0}, \qquad (19)$$

$$\sigma_n^2(L) \simeq \frac{\sigma_R^2 L}{\bar{R}^3} = \bar{n}(L)\, V_R^2. \qquad (20)$$

При этом коэффициент вариации V_n рассчитан по формуле

$$V_n = \frac{\sigma_n}{\bar{n}} = \frac{V_R}{\sqrt{\bar{n}}}. \qquad (21)$$

Тогда верхнюю оценку числа замен за наработку L с надежностью γ находят из неравенства

$$n < \frac{L}{\bar{R}} + Z_\gamma V_n \sqrt{\frac{L}{\bar{R}}} = \bar{n}(L)\,(1+Z_\gamma V_n), \qquad (22)$$

где Z_γ — γ-процентный квантиль нормированного нормального распределения. С учетом формул (17—21) выражение (22) полностью решает поставленную задачу.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. **РАЗРАБОТАН Государственным комитетом СССР по стандартам**
Академией наук СССР

ИСПОЛНИТЕЛИ

И. И. Карасик, д-р техн. наук; И. В. **Крагельский,** д-р техн. наук (руководители темы); **А. В. Блюмен; Д. Г. Эфрос; А. М. Шапиро,** канд. техн. наук

2. **УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28.10.88 № 3595**
Дата введения — 01.07.89

3. **ВЗАМЕН ГОСТ 23.001—77**

4. **ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ**

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер приложения
ГОСТ 20736—75	6

РЕКОМЕНДАЦИИ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Основные положения

Р 50—95—88

Редактор *Т. С. Шеко*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *Р. Н. Корчагина*

Сдано в наб 06 01 89 Подп. в печ 27 04 89 Формат 60×90¹/₁₆ Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать высокая 1,5 усл. п. л 1,625 усл. кр.-отт 1,56 уч.-изд. л. Тираж 25 000 Зак. 42 Цена 10 к Изд. № 10460/4

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru