МИ 1872-88

РЕКОМЕНДАЦИЯ

gost.e-ecolog.ru

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Межповерочные интервалы образцовых средств измерений.

Методика определения и корректировки

МИ 1872-88

Настоящая рекомендация распространяется на образцовые средства измерений (ОСИ), разрабатываемые и эксплуатируемые предприятиями Госстандарта и других министерств и ведомств, подлежащие поверке. МИ содержит основные методы определения и корректировки межповерочных интервалов(МПИ) ОСИ, рекомендуемые для применения в органах государственной и ведомственной метрологических служб.

Допускается применение нормативно-технических и рекомендательных документов предприятия на методы определения и корректировки межповерочных интервалов, не установленные в настоящей методике и отражающие специфические особенности эксплуатации средств измерений на предприятии.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

I. Общие положения 117
2. Методика определения первичного МПИ 119
3. Методика корректировки МПИ по метрологическим отказам, выявленным по результатам периодической поверки... 121
Приложение 3.I. Назначение величины средней доли скрытых метрологических отказов..... 124
Приложение 3.2. Порядок корректировки МПИ по результатам периодической поверки 126
Приложение 3.3. Определение доли метрологических отказов с учетом брака поверки 133
Приложение 3.4. Определение количества скрытых отказов с учетом опыта эксплуатации СИ 137
Приложение 3.5. Обоснование критерия ξ 140
4. Методика определения МПИ с учетом нестабильности средств измерений 143
Приложение 4.I. Примеры расчета МПИ по данным о нестабильности ОСИ 146
Приложение 4.2. Обоснование методов расчета МПИ ОСИ с учетом их нестабильности 149
5. Методика корректировки МПИ по критерию минимума затрат 152
6. Список основных обозначений 155

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

I.I. Межповерочным интервалом называется промежуток времени или наработка между двумя последовательными поверками средств измерений.

I.2. При определении МПИ необходимо учитывать метод поверки ОСИ:

Метод I – установление с заданной вероятностью нахождения погрешности поверяемого ОСИ в пределах допускаемых значений.

Метод 2 – определение фактического значения погрешности поверяемого ОСИ.

I.3. Первичный МПИ τ_1, который разработчик указывает в эксплуатационной документации, утверждается при государственных испытаниях и затем корректируется:

– разработчиком по результатам контрольных испытаний на надежность;

– потребителем ОСИ по результатам обработки эксплуатационных статистических данных.

I.4. Межповерочные интервалы нормируются в календарном времени. Их значения при корректировке рекомендуется выбирать из ряда:

месяцы: (3, 6, 9)*;

годы: I,0; I,25; I,5; I,75; 2,0 и т.д. через 6 месяцев.

Допускается нормирование МПИ в единицах наработки для критерия по п. I.6.I.

I.5. Первичный МПИ допускается выбирать из ряда I,2,3,4 и т.д. года. Округление значений МПИ производится по правилу:

$\tau_н = [\tau_{н_0}]$, если $\tau_{н_0} \leq 0{,}75 + [\tau_{н_0}]$;

$\tau_н = [\tau_{н_0}] + 1$, если $\tau_{н_0} > 0{,}75 + [\tau_{н_0}]$;

где $[\tau_{н_0}]$ – целая часть $\tau_{н_0}$.

I.6. Устанавливаются следующие основные критерии корректировки МПИ образцовых средств измерений:

I.6.I. Средняя доля скрытых метрологических отказов, выявленных по результатам периодической поверки (критерий $\mathcal{E}$).

I.6.2. Максимальное значение коэффициента готовности (критерий Кг).

I.6.3. Минимум экономических потерь (критерий $Э_{min}$).

I.7. Критерий $\mathcal{E}$ применяют для группы однотипных ОСИ, используя статистические данные о количестве забракованных при поверке методом I.

* – для вновь разрабатываемых ОСИ устанавливать не рекомендуется.

Он может быть также применен при поверке методом 2 с учетом значений нестабильности ОСИ за МПИ для группы и индивидуально для каждого ОСИ.

I.8. Для критерия Кг используются статистические данные, полученные как в результате испытаний ОСИ на надежность, так и из опыта эксплуатации. Критерий Кг используют в основном для многофункциональных ОСИ типа поверочных установок, поверяемых методом I и 2, для которых характерен низкий коэффициент готовности (0,9-0,8). Для неремонтируемых ОСИ типа мер, а также для приборов с высоким коэффициентом готовности (0,99-0,9) критерий Кг не применяется.

I.9. Критерий $Э_{min}$ используется в основном при поверке сложных ОСИ или поверочных установок, показатели надежности которых характеризуются коэффициентом готовности Кг, коэффициентом достоверности Кд и коэффициентом использования Кти. При этом время ожидания в очереди на ремонт слабо зависит от МПИ, и известна функция потерь от использования неисправных ОСИ.

I.IO. Если по результатам расчетов выяснилась возможность увеличения (уменьшения) МПИ, то его рекомендуется увеличивать (уменьшать) не более чем в 2 раза за одну корректировку.

I.II. При корректировке МПИ следует использовать статистические данные только тех ОСИ, которые эксплуатировались в условиях, указанных в ТУ.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНОГО МПИ

2.I Первичный МПИ рассчитывается с учетом $\mathcal{E}$ – допустимой доли метрологических отказов за МПИ исходя из показателей надежности, нормированных в ТУ: значение вероятности безотказной работы $P(t)$ или $T_{ср}$ – средней наработки на отказ.

Рекомендуется выбирать следующие значения $\mathcal{E}$:

0,I0 – 0,05 – широко распространенные ОСИ для поверки рабочих СИ, не связанных со здоровьем и жизнью людей метрологический отказ которых не вызывает большого ущерба

0,05 – 0,0I – ОСИ, выпускаемые малыми сериями, используемые для поверки рабочих СИ, которые связаны со здоровьем людей, контролем окружающей среды, метрологический отказ которых может привести к серьезным последствиям и значительному материальному ущербу.

0,0I – 0,005 – уникальные ОСИ, применяемые в особо ответственных измерениях с катастрофическими последствиями от применения неисправных СИ.

2.2. В случае, если известно значение $P(t)$, МПИ T_1 (в месяцах) определяется по формуле

$$T_1 = \frac{t}{K_н} \cdot \frac{C_n(1-\mathcal{E})}{K_p(K_и+0{,}01)C_n[1-\varkappa(1-P(t))]}, \qquad (2.I)$$

где $K_и$ – коэффициент использования, определяемый как доля времени эксплуатации ОСИ за МПИ.

$K_н$ – коэффициент перевода наработки в часах в месяцы ($K_н$=720).

t, час – время, на которое задается функция $P(t)$.

Доля метрологических отказов [I] в общем числе отказов:

$$\varkappa = \frac{n_м}{n_м + n} \qquad (2.2)$$

$n_м$ – количество метрологических отказов.

n – количество явных отказов (в случае, если неизвестны значения $n_м$ и n , принимается $\varkappa$=I).

$K_р = I - 0{,}9\frac{n_o}{n_Σ}$ – коэффициент, учитывающий наличие контроля метрологических характеристик с помощью встроенной системы самоповерки (в случае отсутствия системы самоповерки $K_р$=I).

n_0 – количество нормируемых метрологических характеристик контролируемых с помощью встроенной системы самоповерки.

n_Σ – общее количество нормируемых метрологических характеристик.

2.3. Если известна наработка на отказ $T_{ср}$ (в часах), то МПИ рассчитывается по формуле (в месяцах):

$$\tau_1 = -\frac{T_{ср}\ln(1-\varepsilon)}{K_н(K+0{,}01)\varkappa K_р}. \qquad (2.3)$$

2.4. В случае, если МПИ нормируется в единицах наработки (циклы, часы и т.д.) в формулах (2.I) и (2.3) $K_н$=I, $P(t)$ и $T_{ср}$ задаются для соответствующих едениц наработки.

2.5. Значения первичных МПИ, рассчитанные по формулам (2.I) и (2.3) будут заниженными, т.к. функция распределения вероятности метрологического отказа принимается экспоненциальной.

В дальнейшем первичные МПИ подвергаются корректировке по результатам обработки статистических данных, полученных при эксплуатации конкретных групп средств измерений.

2.6. Если известны характеристики нестабильности ОСИ, то первичные МПИ рассчитываются в соответствии с рекомендациями раздела 4.

3. МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ МПИ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ОТКАЗАМ, ВЫЯВЛЕННЫМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ

3.1. При определении и корректировке МПИ используется средняя доля $\mathcal{E}$, забракованных при поверке ОСИ по превышению предела допускаемой погрешности (метод поверки I по п.I.2). Значение $\mathcal{E}$ выбирается заранее, и межповерочные интервалы расчитываются таким образом, чтобы при выбранном значении $\mathcal{E}$ в среднем за один МПИ браковалась часть приборов, равная $\mathcal{E}$, т.е.

$$\mathcal{E} \approx \frac{m}{N} , \qquad (3.1)$$

где N – число приборов, пришедших на поверку.

m – число приборов с метрологическим отказом.

3.2. Величина $\mathcal{E}$ связана с вероятностью метрологической исправности $P_{ми}$ соотношением

$$P_{ми} = 1 - \mathcal{E} \qquad (3.2)$$

3.3. Метод применяется только для группы однотипных ОСИ, эксплуатируемых в одинаковых условиях, указанных в ТУ, для которых нельзя выделить доминирующего фактора, влияющего на ухудшение их точности. В противном случае МПИ таких ОСИ будет зависеть от интенсивности и продолжительности действия этого фактора. Не рекомендуется так же объединять в группу ОСИ с сильно различающейся интенсивностью эксплуатации. Точность метода зависит от числа приборов в группе N (см. раздел 7) и существенно уменьшается при $N \leqslant 10$.

3.4. Рекомендуемые значения $\mathcal{E}$ указаны в п.2.I. Для более конкретного назначения величины $\mathcal{E}$ следует пользоваться Приложением 3.I. С его помощью получают априорные оценки максимально возможного числа бракуемых ОСИ за МПИ для конкретной группы из N приборов и оценки максимальной погрешности у бракуемых ОСИ при принятой методике поверки. Если значения полученных оценок не удовлетворяют потребителя ОСИ, то подбирают соответствующее значение $\mathcal{E}$, удовлетворяющее этим требованиям. Введение предупреждающего контрольного допуска $\gamma < 1$ дает возможность значительно уменьшить максимальную погрешность у бракуемых ОСИ, что позволяет увеличивать МПИ.

3.5. Оценка средней доли метрологически неисправных ОСИ определяется по формулам:

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{m}{N}, \text{ если } m \neq 0, \quad (3.3.)$$

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{1}{2N+2}, \text{ если } m = 0, \quad (3.4.)$$

где N – число поверенных ОСИ;

m – число метрологически неисправных ОСИ.

Если $\tilde{\varepsilon}$ определяется за несколько поверок, то $m = \sum_{i=1}^{K} m_i$ и $N = \sum_{i=1}^{K} N_i$, где N_i и m_i – соответственно N и m за i-ю поверку, K – число поверок.

3.6. Полученное значение $\tilde{\varepsilon}$ определяется с погрешностью обусловленной ограниченной точностью метода поверки:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon' + \Delta\varepsilon, \quad (3.5.)$$

где ε' – истинное значение $\tilde{\varepsilon}$,

$\Delta\varepsilon$ – погрешность определения $\tilde{\varepsilon}$, зависящая от метода поверки.

В Приложении 3.3 на рис.3 приведена зависимость $\Delta\varepsilon$, которую вносит реальная методика поверки от величины ε и от соотношения погрешностей ОСИ и методики их поверки α для разных законов распределения погрешности у поверяемых ОСИ.

3.7 часть ОСИ, забракованных до проведения поверки (внешний вид, повреждения и т.д.), могли иметь метрологический отказ. В этом случае проводится корректировка полученного в результате поверки значения $\tilde{\varepsilon}$ по методике, изложенной в Приложении 3.4. Новое значение $\tilde{\varepsilon}' > \tilde{\varepsilon}$

Окончательно истинная оценка доли метрологически неисправных ОСИ в группе с учетом поправок на реальные условия эксплуатации и поверки будет равна

$$\varepsilon' = \tilde{\varepsilon}' - \Delta\varepsilon \quad (3.7.)$$

Если брак поверки пренебрежимо мал $\Delta\varepsilon \approx 0$ и все отбракованные при поверке приборы имеют погрешность, превышающую допуск, то $\tilde{\varepsilon}' = \tilde{\varepsilon}$ и $\varepsilon' = \tilde{\varepsilon}$.

3.8. Корректировка МПИ производится с помощью номограммы рис.I и таблицы П3.I Приложения-3.2. На рис.I показана номограмма для определения допустимых границ изменения оценки $\tilde{\varepsilon}$ ($\tilde{\varepsilon}_{min}, \tilde{\varepsilon}_{max}$) в зависимости от назначенной величины ε и числа приборов N в группе ОСИ для которых корректируется МПИ. Если оценка $\tilde{\varepsilon}$ находится в границах

$$\tilde{\varepsilon}_{min} < \tilde{\varepsilon} < \tilde{\varepsilon}_{max}$$

то последующий МПИ не меняется. Если $\tilde{\varepsilon}$ выходит за допустимые границы, то для любой функции распределения вероятности метрологического отказа значение последующего МПИ связано с предыдущим неравенством [2] :

$$\tau_i \frac{\varepsilon}{\tilde{\varepsilon}}\left(1-\tilde{\varepsilon}\right) < \tau_{i+1} < \tau_i \frac{\varepsilon}{\tilde{\varepsilon}}\left(1-\varepsilon\right)^{-1} \qquad (3.9)$$

где τ_i – предыдущий МПИ за который получена оценка $\tilde{\varepsilon}$,
τ_{i+1} – последующий МПИ,
$\tilde{\varepsilon}$ – оценка ε, полученная при i-м МПИ.

Для расчета скорректированного МПИ используется среднее арифметическое минимальной и максимальной границ неравенства (3.9). Эти значения для разных ε сведены в табл. П3.1, с помощью которой расчитывается значение последующего скорректированного МПИ.

3.9. Для небольшой группы $N < 30$ ОСИ или для группы ОСИ с малым значением назначенной величины ε для увеличения МПИ следует воспользоваться данными за несколько последовательных поверок. Если хотя бы в одной из поверок получено такое значение ε, для которого следует уменьшать МПИ, то следует объединять в группу данные только последующих поверок. Число поверок определяется по формуле:

$$i \geq \frac{30}{N} \qquad (3.10)$$

3.10. Возможность изменения со временем потока метрологических отказов в группе ОСИ по причине старения или из-за других факторов требует периодической проверки удовлетворения назначенному критерию ε и необходимости корректировки МПИ.

НАЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СРЕДНЕЙ ДОЛИ СКРЫТЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ

Приложение 3.I

I. При назначении величины ε по п.3.4 рекомендуется руководствоваться априорной оценкой максимально допустимого числа ОСИ, бракуемых при поверке, и относительной величиной максимального превышения предела допустимой погрешности метрологически негодного ОСИ к концу МПИ и для метрологически негодных ОСИ признанных годными после поверки в начале МПИ. Для этого используется номограмма на рис. I и 2, после чего значение ε остается постоянным для всех последующих МПИ.

2. Максимально допустимое число ОСИ бракуемых при поверке определяется по формуле

$$m_{max} = N\,\varepsilon_{max}, \qquad (I)$$

где значение ε_{max} для конкретного N определяют по номограмме I.

Пример: Например для N =36 и ε =0,I0 значение ε_{max} 0,I0=0,20, тогда m =0,20 · 36=7,2 ≈ 8 приборов. Это значение можно было определить сразу по номограмме I. На ней сплошными линиями нанесены кривые зависимостей m от N для фиксированного ε. Точка пересечения кривой ε_{max}0,I0 с прямой параллельной оси ε проведенной через ось N в точке 36 находится рядом с кривой m =7. Таким образом, максимально допустимое число ОСИ бракуемых при поверке для групп ОСИ из 36 приборов с назначением ε =0,I0 составит чуть более 7 приборов т.е. 8 штук, т.к. число отказавших приборов не может быть дробным. Оценки, получаемые с помощью номограммы имеют 95% доверительную вероятность.

3. По номограмме 2 определяется отношение максимального значения погрешности метрологически негодного ОСИ к концу МПИ к нормируемому пределу допускаемой погрешности $\delta_{max}/\delta_{оси}$ (правая часть номограммы 2) и то же отношение для метрологически негодных ОСИ, признанных годными при поверке в начале МПИ (левая часть рис.2).

При неизвестном законе распределения погрешности для группы ОСИ следует использовать кривую 3. Для равномерного закона используется кривая I, для нормального-2.

Отложив по ОСИ ординат значение назначаемого ε на оси абцисс, получаем значение относительной величины $\frac{\delta_{max}}{\delta_{оси}}$ для кривых I,2 и 3. В зависимости от наличия контрольных (предупреждающих) допусков используется соответствующая ось абцисс, например, γ =0,8 или γ =0,9.

При отсутствии таких допусков, т.е. в случае разбраковки на годные и негодные ОСИ по величине предела погрешности, используется ось с γ=1,0.

Величина максимальной погрешности у ОСИ ошибочно признанных годными при поверке (левая часть номограммы 2) показана для соотношения пределов погрешности методики поверки ОСИ и погрешности ОСИ равное 1:2 (α =0,5). Для других значений α величина максимальной погрешности рассчитывается по формуле

$$\left(\frac{\delta_{max}}{\delta_{оси}}\right)_{\alpha} = 2\alpha \frac{\delta_{max}}{\delta_{оси}}, \qquad (2)$$

где $\frac{\delta_{max}}{\delta_{оси}}$ – значение, полученное по левой части номограммы 2,

α – соотношение пределов погрешности методики поверки ОСИ и самого ОСИ.

Все оценки, получаемые по номограмме 2, будут иметь 99% доверительную вероятность.

4. Пример. Для ε =0,10 при неизвестном законе распределения погрешностей ОСИ максимальная погрешность в конце МПИ будет равна 1,5 $\delta_{оси}$, где $\delta_{оси}$ –предел допускаемой относительной погрешности ОСИ. Максимальная погрешность у ОСИ с метрологическим отказом, необнаруженным при поверке составит 1,15 $\delta_{оси}$ при соотношении погрешностей методики поверки и ОСИ 1:2 (α =0,5). Если при забраковании при поверке вводится контрольный (предупредительный) допуск 0,8 $\delta_{оси}$ (γ =0,8), то эти величины существенно будут снижены. В первом случае максимальная погрешность будет равна 1,2 $\delta_{оси}$, во втором– после поверки будет равна 1 $\delta_{оси}$, т.е. практически брак поверки не возможен.

Вывод: Таким образом, при выбранном среднем значении ε =0,1 максимальное забракованное число ОСИ при поверке составит 8 приборов.

Максимальное превышение допустимой погрешности ОСИ в конце МПИ составит 50% от ее предела.

При введении контрольного допуска γ эта величина может быть снижена соответственно для γ =0,8 – до 20% и γ =0,9 – до 35%.

Для ОСИ ошибочно признанных годными, в начале следующего МПИ превышение допустимой погрешности ОСИ составит 15%. При введении контрольного допуска, эта величина может быть снижена для γ =0,9 до 0%.

В случае, если полученные данные по максимальному числу забракованных, и максимальному превышению допустимой погрешности ОСИ не удовлетворяют потребителя следует выбрать другое значение ε

Приложение 3.2

ПОРЯДОК КОРРЕКТИРОВКИ МПИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ

При корректировке МПИ по результатам периодической поверки используются номограммы, показанные на рис.1 и 3.

1. По оси абцисс рис.1 откладывается значение N - число поверенных ОСИ, по оси ординат - ε' - оценка ОСИ забракованных по метрологическим отказам. Пересечение этих прямых определяет точку, характеризующую оценку значения метрологической надежности ОСИ.

2. Для заданного значения средней доли метрологически неисправных ОСИ определяются кривые максимальных и минимальных значений ε (например для ε =0,10 соответственно кривые ε_{min} 0,10; ε_{max} 0,10). Для общего числа поверенных ОСИ N на графике определяются допустимые границы изменения $\tilde{\varepsilon}$ за МПИ. Если оценка $\tilde{\varepsilon}$ находится в допустимых пределах, то существующий МПИ не меняется.

3. Если значение $\tilde{\varepsilon}$ меньше ε_{min} или больше ε_{max}, то существующий МПИ изменяется по следующему алгоритму (рис.4).

4. Пример. Для N =100 и ε =0,10 по данным поверки получили $\tilde{\varepsilon}$ =0,19. Ближайшее значение ε_{max} для N =100, в границах которого находится $\tilde{\varepsilon}$ =0,19 будет ε_{max} 0,15. Если бы $\tilde{\varepsilon}$ =0,18, то принимаем ε_{max} 0,12.

По таблице для первого случая от ε =0,10 и ε^{*}=0,15 находим q=0,65, а для ε =0,10 и ε^{*} =0,12 q=0,82 соответственно τ_{i+1}=0,65τ_i и τ_{i+1}=0,82τ_i

При увеличении МПИ поступаем аналогично.

Например, для тех же условий N =100 и ε =0,10 после поверки имеем $\tilde{\varepsilon}$ =0,03. Т.к. точка на графике соответствующая $\tilde{\varepsilon}$ =0,03 и N =100 находится за пределами допустимых границ изменения от ε_{max} 0,10 до ε_{min} 0,10 ($\tilde{\varepsilon} < \varepsilon_{min}$ 0,10), то мы принимаем ближайшее значение ε_{min} 0,08. По таблице П3.1. для ε =0,10 и ε^{*} =0,08 расчитываем следующий МПИ

$$\tau_{i+1}=1,3\tau_i$$

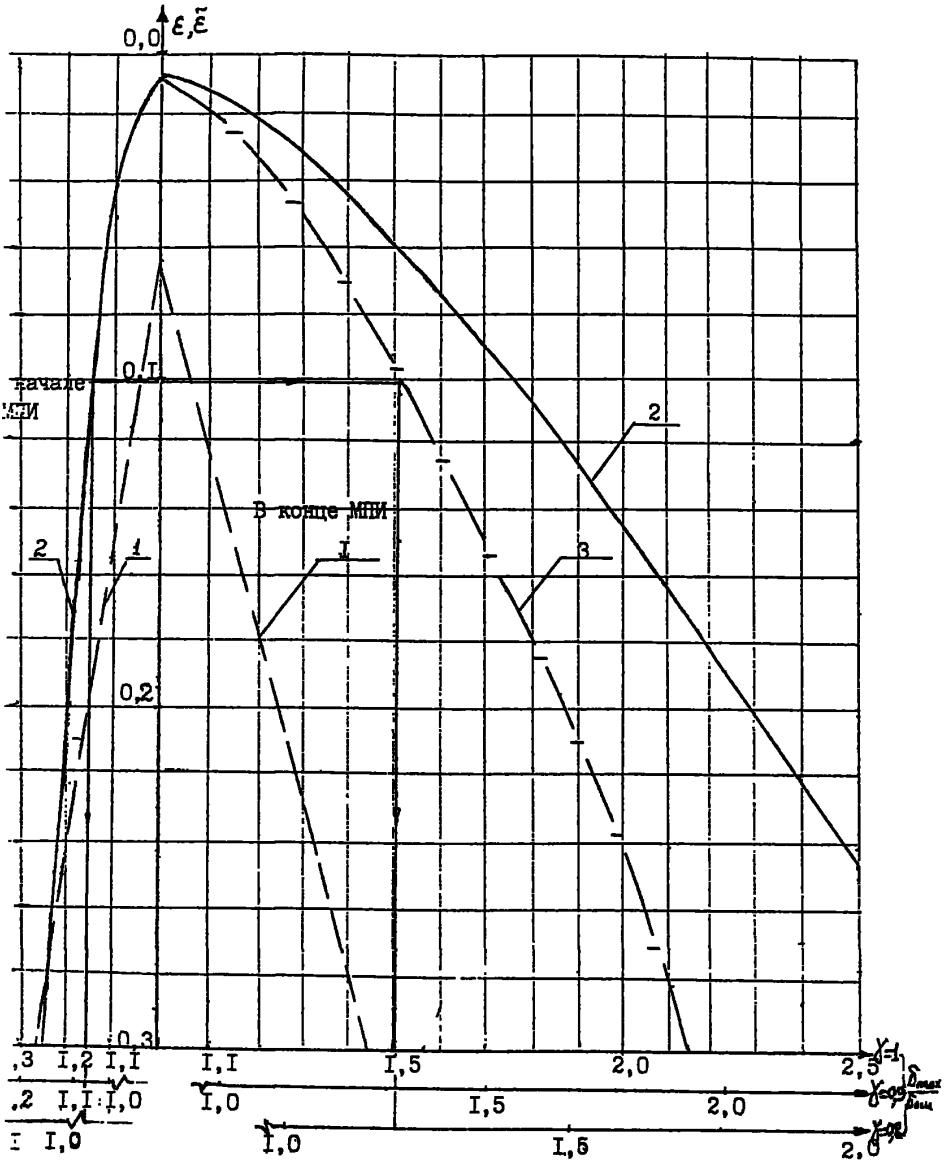

Рис. 2. Номограмма для определения максимального превышения допуска.

ε – назначенная величина средней доли метрологически отказавших из группы в N единиц ОСИ за МПИ

$\tilde{\varepsilon}$ – оценка доли метрологически отказавших ОСИ из группы

N – число ОСИ в группе

m – число ОСИ, забракованных по метрологическим отказам при поверке.

$\tilde{\varepsilon}_{max}^{0,10}$ – максимальное значение оценки $\tilde{\varepsilon}$ при назначенном $\varepsilon = 0,10$, для которого МПИ не уменьшается.

$\varepsilon_{min}^{0,10}$ – минимальное значение оценки $\tilde{\varepsilon}$ при назначенном $\varepsilon = 0,10$, для которого МПИ не увеличивается

$\frac{\delta_{max}}{\delta_{осц}}$ – величина, превышения максимальной относительной погрешности из группы поверяемых ОСИ – δ_{max} к пределу допускаемой относительной погрешности ОСИ – $\delta_{осц}$

$\gamma = \frac{\delta'_{осц}}{\delta_{осц}}$ – величина, показывающая отношение контрольного (предупредительного) допуска по которому ведется бракование ОСИ к пределу допускаемой относительной погрешности $\delta_{осц}$

1, 2 – зависимости $\frac{\delta_{max}}{\delta_{осц}}$ от значения ε и $\tilde{\varepsilon}$ для равномерного и нормального (соответственно) законов распределения погрешности поверяемых ОСИ.

3 – зависимость для усредненного закона. Ею следует пользоваться при неизвестном законе распределения погрешности поверяемых ОСИ.

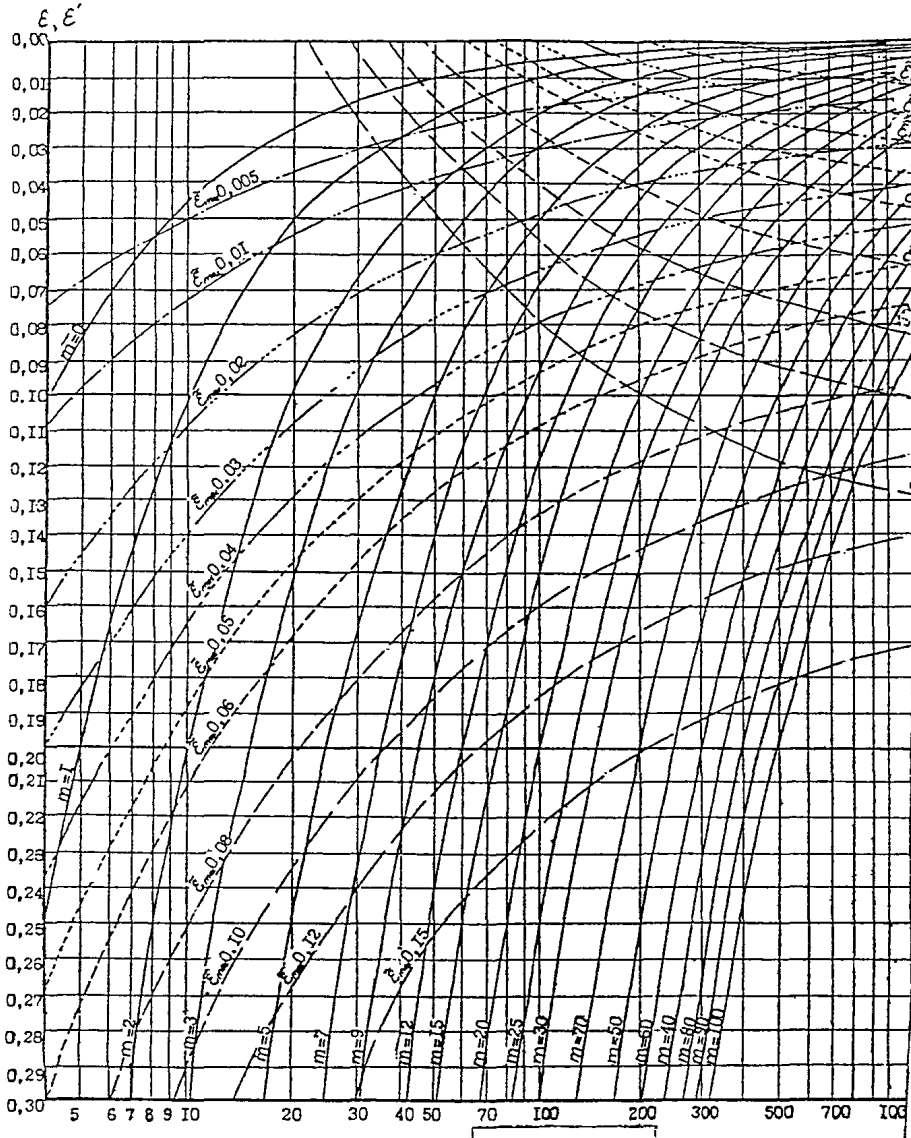

Рис. I Номограмма для определения $\tilde{\varepsilon}_{max}$, $\tilde{\varepsilon}_{min}$, ε^* и корректировки МПИ

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{1}{2N_0+2}, \text{ если } m=0$$

$$\tilde{\varepsilon}_{max}\varepsilon = \varepsilon + 2\sqrt{(1-\varepsilon)\varepsilon/N_0} \; ; \quad \varepsilon_{min}\varepsilon = \tilde{\varepsilon} - 2\sqrt{(1-\varepsilon)\varepsilon/N_0}$$

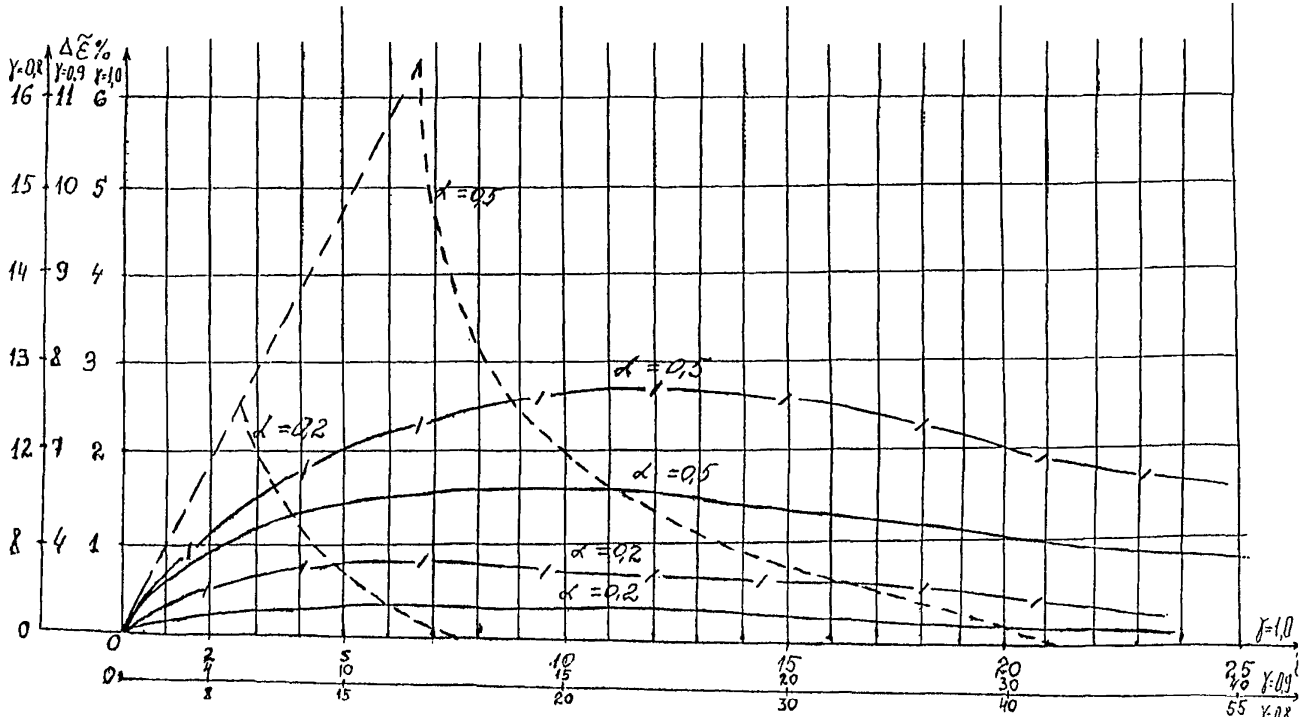

Рис.3. Номограмма для уточнения доли метрологически неисправных ОСИ с учетом брака поверки при нормальном законе распределения погрешностей методики поверки

$\alpha = \frac{\delta_{мм}}{\delta_{осн}}$ отношение предела погрешности метода поверки к пределу допускаемой погрешности поверяемого ОСИ.

I – – – – для равномерного закона распределения поверяемых ОСИ.

2 ——— для нормального закона распределения поверяемых ОСИ.

3 -/-/-/- для релеевского закона распределения поверяемых ОСИ. Используется как усредненный закон при неизвестно законе распределения.

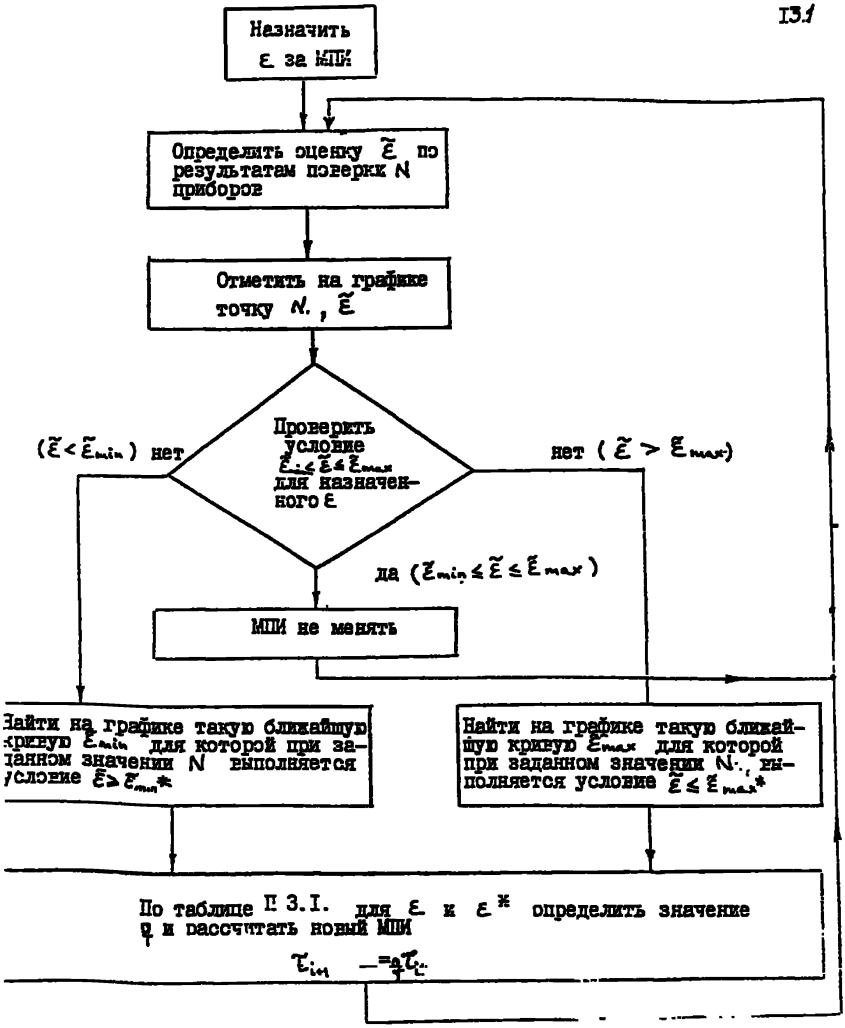
Назначить ε за МПИ
Определить оценку $\tilde{\varepsilon}$ по результатам поверки N приборов
Отметить на графике точку N_i, $\tilde{\varepsilon}$
Проверить условие $\tilde{\varepsilon}_{min} \le \tilde{\varepsilon} \le \tilde{\varepsilon}_{max}$ для назначенного ε
($\tilde{\varepsilon} < \tilde{\varepsilon}_{min}$) нет
нет ($\tilde{\varepsilon} > \tilde{\varepsilon}_{max}$)
да ($\tilde{\varepsilon}_{min} \le \tilde{\varepsilon} \le \tilde{\varepsilon}_{max}$)
МПИ не менять
Найти на графике такую ближайшую кривую $\tilde{\varepsilon}_{min}$ для которой при заданном значении N выполняется условие $\tilde{\varepsilon} \ge \tilde{\varepsilon}_{min}$*
Найти на графике такую ближайшую кривую $\tilde{\varepsilon}_{max}$ для которой при заданном значении N_i выполняется условие $\tilde{\varepsilon} \le \tilde{\varepsilon}_{max}$*
По таблице П 3.1. для ε и ε* определить значение q и рассчитать новый МПИ
$\tau_{i+1} = q\tau_i$

Рис. 4

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ q ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ МПИ τ_i

Таблица П 3.I.

Назначенная величина, ϵ	Значение ϵ^*, полученное по номограмме рис. I.										
	0005	0,0I	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,I0	0,I2	0,I5
0,005	I,0	0,50	0,25	0,I6	0,I2	0,I0	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03
0,0I	2,0	I,0	0,50	0,33	0,25	0,20	0,I6	0,I2	0,I0	0,08	0,06
0,02	4,0	2,0	I,0	0,66	0,49	0,39	0,33	0,24	0,I9	0,I6	0,I2
0,03	6,I	3,0	I,5	I,0	0,75	0,59	0,49	0,37	0,29	0,24	0,I9
0,04	8,I	4,0	2,0	I,3	I,0	0,80	0,66	0,49	0,39	0,32	0,25
0,05	I0,2	5,I	2,5	I,6	I,2	I,0	0,83	0,62	0,47	0,40	0,32
0,06	I2,3	6,I	3,I	2,0	I,5	I,2	I,0	0,74	0,59	0,49	0,38
0,08	I6,6	8,3	4,I	2,7	2,0	I,6	I,3	I,0	0,79	0,65	0,5I
0,I0	2I,0	I0,4	5,2	3,5	2,6	2,I	I,7	I,3	I,0	0,82	0,65

Скорректированный МПИ определяется по формуле:

$$\tau_{i+1} = q \cdot \tau_i \quad , \qquad (3)$$

где τ_i – значение МПИ подлежащее корректировке

τ_{i+1} – значение скорректированного МПИ.

Приложение 3.3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ С УЧЕТОМ БРАКА ПОВЕРКИ

В силу наличия погрешностей образцовых СИ (используемых для поверки) и метода поверки ее результаты будут искажены ошибками, которые должны быть исключены из значения оценки $\tilde{\varepsilon}$ – доли (вероятности) метрологически негодных ОСИ, или отношения забракованных по результатам поверки к общему числу поверенных.

Истинное значение доли (вероятности) метрологически неисправных ОСИ, поступивших на поверку ε' определяется разностью

$$\varepsilon' = \tilde{\varepsilon} - \Delta\varepsilon \qquad (4)$$

I. Величина ошибки $\Delta\varepsilon$ определяется из отношения

$$\Delta\varepsilon = \beta_п - \alpha_п, \qquad (5)$$

где $\alpha_п$ – вероятность фиктивного брака (рис.5, Приложение 3.5.),

$\beta_п$ – вероятность необнаруженного брака.

Ее величина зависит как от параметров методики поверки, так и от параметров поверяемых ОСИ, которые определяются соотношением погрешностей поверяемого ОСИ и метода поверки $\delta_{мп}$ и относительного контрольного допуска γ

$$\alpha = \frac{\delta_{мп}}{\delta_{оси}}, \qquad (6)$$

где $\delta_{мп}$ – предел погрешности метода поверки (определяется по п.п. I.2),

$\delta_{оси}$ – предел допускаемой погрешности поверяемого ОСИ при нормальных условиях поверки (указывается в ТО на конкретный прибор).

$$\gamma = \frac{\delta'_{оси}}{\delta_{оси}}, \qquad (7)$$

где $\delta'_{оси}$ – контрольный допуск по которому происходит бракование ОСИ.

На рис.5. Приложения 3.5. показана графическая иллюстрация определения $\Delta\mathcal{E}$ для нормальных законов распределения контролируемых погрешностей поверяемых ОСИ и метода поверки [5], где

δ_{max} – максимально возможная погрешность негодного ОСИ, принятого в качестве годного;

$f(x)$ – закон плотности распределения контролируемых погрешностей поверяемых ОСИ.

Ввиду того, что вид закона $f(x)$, как правило, неизвестен, рекомендуется пользоваться усредненными, полученными по результатам анализа нескольких видов законов распределения, крайними из которых являются равномерный и нормальный:

$f(y)$ – закон плотности распределения погрешности, принимаемый во всех случаях нормальным.

Порядок определения $\mathcal{E}$ следующий:

I.I. По количеству забракованных по метрологическим отказам ОСИ (m) определяют $\widetilde{\mathcal{E}}$

$$\widetilde{\mathcal{E}} = \frac{m}{N}, \qquad (8)$$

где N – общее число поверенных ОСИ.

I.2. Рассчитывают предел погрешности метода поверки [1]

$$\delta_{мп} = 3\sqrt{\left(\frac{\delta_{0\,оси}}{K}\right)^2 + \sum_{i=1}^{n}\sigma_i^2}, \qquad (9.)$$

где $\delta_{0\,оси}$ – предел допустимой погрешности ОСИ высшего разряда, применяемое при поверке;

K – коэффициент, отражающий степень доверия к показаниям прибора выбирается из таблицы.

степень доверия	99,7%	99%	98%	97%	95%
значение K	3,0	2,6	2,3	2,2	2,0

I) При отсутствии данных для расчета δ_m допускается принимать $\delta_{мп} = \delta_0/3$, где δ_0 – доверительная погрешность поверки ОСИ

Рекомендуется принимать К = 2,3 ÷ 2,6.

δ_i – среднеквадратическое значение погрешности от i-ой влияющей величины;

n – число влияющих величин.

I.3. Определяется значение α по формуле 6.

По графику рис.3 при известном законе распределения погрешностей поверяемых ОСИ для конкретного α по значению $\tilde{\varepsilon}$ определяется ошибка $\Delta\varepsilon$. При неизвестном законе распределения значение $\Delta\varepsilon$ определяется по усредненным кривым 3. При использовании нормального закона распределения погрешностей ОСИ расчитанные значения МПИ будут минимальными, δ_{max} -максимальными.

I.4. По значению $\tilde{\varepsilon}$ и $\Delta\varepsilon$ определяется истинное значение ε'

$$\varepsilon' = \tilde{\varepsilon} - \Delta\varepsilon. \qquad (10)$$

Если контрольный допуск совпадает с величиной допускаемой погрешности

$$\delta'_{оси} = \delta_{оси} \text{ и } \gamma = 1,$$

то для определения $\Delta\varepsilon$ пользуются осью $\gamma = 1$.

Если контрольный допуск меньше допускаемой погрешности,

$$\delta'_{оси} < \delta_{оси} \text{ и } \gamma < 1,$$

то для определения $\Delta\varepsilon$ пользуются осью $\gamma = 0{,}9$, $\gamma = 0{,}8$.

I.5. Максимально возможная погрешность у вышедших за допуск ОСИ в конце МПИ перед поверкой и у ОСИ с необнаруженным браком после поверки (в начале МПИ) определяется по номограммам рис. 2. Для значения оценки $\tilde{\varepsilon}$ вычисленной по результатам поверки, в зависимоти от закона распределения поверяемых ОСИ (при неизвестном законе распределения используют кривую 3) определяют отношение максимально возможной погрешности (с вероятностью 99,5%) к пределу допускаемых погреш-

ностей ОСИ

$$\frac{\delta_{max}}{\delta_{оси}} = \theta_м , \qquad (11)$$

по которому рассчитывают δ_{max}

$$\delta_{max} = \theta_м \delta_{оси}. \qquad (12)$$

Номограмма рис. 2 приведена для группы ОСИ численностью в 100 единиц. В среднем при поверке такой группы за границами равными $\pm\delta_{max}$ окажется менее одного прибора. При численности группы в 1000 единиц для тех же условий $\delta_м$ определяется как

$$\delta_{max} = 1{,}2\theta_м \delta_{оси} \qquad (13)$$

1.6. Ввиду брака поверки и дрейфа погрешности ОСИ за МПИ погрешность определенной части приборов (приблизительно равной ε) будет превышать $\delta_{оси}$ в $\theta_м$ раз.

Введение контрольного допуска, например, $\gamma = 0{,}8$ гарантирует непревышение допуска $\delta_{оси}$ поверенных ОСИ для любого распределения погрешности и вплоть до $\varepsilon = 30\%$ и значительно уменьшается максимальная величина погрешности δ_{max} у метрологически оказавших ОСИ за МПИ. Внизу номограммы рис. 2 даны оси для определения δ_{max} при введении контрольных допусков $0{,}8\,\delta_{оси}$ и $0{,}9\,\delta_{оси}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА СКРЫТЫХ ОТКАЗОВ С УЧЕТОМ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ СИ

Определение количества скрытых отказов с учетом опыта эксплуатации СИ и их аналогов состоит из следующих этапов:

I. Проведение количественного анализа возможных отказов СИ с декомпозицией этих отказов по причинам их вызывающих.

Декомпозиция возможных отказов производится экспериментом с учетом опыта эксплуатации СИ, изделий-аналогов, а также данных технической документации, результатов различных видов испытаний. При этом эксперт должен отличать причины, вызывающие скрытые отказы.

2. Определение веса (доли) отказа от общего числа отказов по каждой причине проведенной декомпозиции.

Определение веса (доли) отказа производится на основании статистических данных, полученных при эксплуатации, испытаниях, по формуле:

$$r_{nj} = \frac{n_{nj}}{\sum_{j=1}^{s} n_{nj}} \qquad (I4)$$

$j = I,2,3...$ s – количество причин, вызывающих возникновение отказов;

r_{nj} – вес (доля) отказа по j -й причине;

n_{nj} – количество отказов по j -й причине.

3. Экспертным методом назначаются вероятностные коэффициенты каждой причины, вызывающей отказ – q_i , характеризующие вероятность предполагаемой опасности отказа по j -й причине. Значения коэффициентов выбираются в пределах от I до 0. Рекомендуемые значения q_i приведены в таблице I.

Таблица I

Группа причин отказов	Крайне вероятная причина отказа	Ожидаемая причина отказа	Вероятная причина отказа	Возможная причина отказа	Маловероятная причина отказа	Крайне маловероятная причина отказа
Значения коэффициентов q_i	I,0–0,9	0,9–0,7	0,7–0,5	0,5–0,3	0,3–0,I	0,I

4. На основании назначенных коэффициентов q_j рассчитывается r_j – вес (доля) опасности отказов по каждой причине по формуле:

$$r_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^{m} q_j} \qquad (15)$$

5. Определение количества скрытых отказов n_c производят по формуле:

$$n_c = \frac{r_c n_{nj}}{r_{nj}}, \qquad (16)$$

где r_c – сумма значений r_j по причинам, вызывающим скрытые отказы;

n_{nj} – количество отказов за МПИ по j -й причине;

r_{nj} – вес (доля) опасности отказа по j -й причине.

6. Пример применения методики определения количества скрытых отказов с учетом опыта эксплуатации СИ.

6.1. Определение количества скрытых отказов производства для манометров типа МТН, класса точности 1,0. Количество приборов под наблюдением – 91.

6.2. Декомпозиция отказов по причинам их вызывающих и количество отказов приведены в таблице 2 графы 2,3. Значения графы 2,3 получены по данным эксплуатации.

6.3. Определение веса (доли) отказов от общего числа отказов производится по формуле (14). Полученные значения приведены в графе 4 таблицы 2.

6.4. В графе 5 таблицы 2 приведены вероятностные коэффициенты каждой причины, вызывающей отказ. Значение q_j по 3-ей причине отказов увеличено вследствие того, что около 30 процентов приборов забракованные из-за неисправности корректора, могли бы быть забракованы по выходу основной погрешности за границы допуска.

6.5. В графе 6 таблицы 2 приведены значения коэффициентов r_j, рассчитанные по формуле (15) с учетом назначенных коэффи-

циентов q_j

6 6. Определение количества скрытых отказов производится по формуле I6и приведено в графе 7.

Таблица 2

Причины отказов	Виды	Кол-во отказов n_{oj}	Вес (доля) отказов Σn_j	Значения q_j	Откорректированная доля отказов γ_j	Количество скрытых отказов n_i
I	2	3	4	5	6	7
I. Разбито стекло, сорвана резьба штуцера	явн.	3	0,I4	0,I4	0,I3	
2. Стрелка погнута, сбита	явн.	I3	0,59	0,59	0,52	
3. Основная погрешность вне допуска	скрытый	6	0,27	0,4	0,35	7,8
		Σ 22	Σ I,0	I,I3	I,0	

7. Скорректированное значение $\tilde{\varepsilon}'$ определяется по формуле:

$$\tilde{\varepsilon}' = \frac{\sum_{i=1}^{s} n_i}{\sum_{j=1}^{k} n_{oj}},$$

где $i = 1,2,3\ldots,K$; S – количество причин вызывающих возникновение скрытого метрологического отказа.

7.I. Для приведенного примера $\tilde{\varepsilon}' = 7,8/22 = 0,35$.

Прилокение 3.5.

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ $\tilde{\varepsilon}$

I. Система, состоящая из нескольких приборов, является малостареющей т.к. имеется почти полное восстановление надежности входящих а нее приборов после их явного отказа и после отрицательных результатов поверки. Такие системы имеют постоянный или медленно меняющийся во времени поток отказов [3]. Если принять, что время восстановления приборов много меньше МПИ их надежность можно описать экспоненциальной зависимостью:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \qquad (17)$$

где $\lambda = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i(t)/N$

$\lambda_i(t)$ – поток отказов i-го прибора, зависящий от времени;

N – число приборов в группе.

При увеличении N – числа приборов зависимость λ от времени уменьшается и точность формулы (17) будет возрастать. При конечном числе приборов N доля метрологически неисправных может находиться с вероятностью 95% в пределах [4]:

$$(1-e^{-\lambda t}) - 2\sqrt{(1-e^{-\lambda t})e^{-\lambda t}/N} \le \tilde{\varepsilon} \le (1-e^{-\lambda t}) + 2\sqrt{(1-e^{-\lambda t})e^{-\lambda t}/N}, \qquad (18)$$

где $\tilde{\varepsilon} = m/N$ при $m \neq 0$ и $\tilde{\varepsilon} = \frac{1}{2N+2}$ при $m = 0$

m – число метрологически неисправных приборов;

N – число приборов пришедших на поверку.

2. Средства измерений, пришедшие на поверку, поверяются с конечной точностью, и процент забракованных приборов будет несколько увеличен за счет неточности образцовых СИ:

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon' + \Delta\varepsilon, \quad \tilde{\varepsilon} = P_{нн} + \beta_п, \qquad (19)$$

где $\varepsilon' = (P_{нн} + \beta_п)$ – истинное значение доли метрологически неисправных приборов;

$\Delta\varepsilon$ – погрешность определения $\tilde{\varepsilon}$; $P_{нн}$ – доля негодных ОСИ, признанных негодн.

Если плотность распределения погрешностей приборов пришедших на поверку (рис. 2) описывается зависимостью $f(x)$, а плотность распределения погрешности метода поверки – $f(y)$, то увеличение доли метрологически неисправных приборов за счет браков поверки рассчитывается из соотношений (19):

$$\Delta\varepsilon = \beta_п - \alpha_п, \qquad (20)$$

где $\beta_п$ – доля фиктивно забракованных ОСИ,

$\alpha_п$ – доля необнаруженного брака.

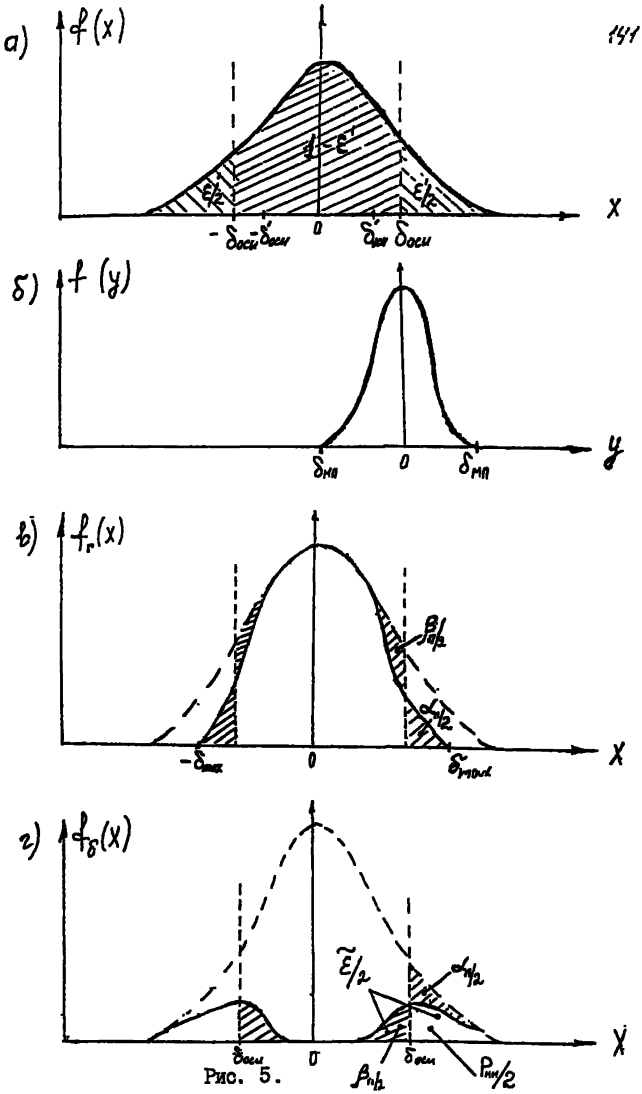

Рис. 5.

а) плотность распределения погрешностей поверяемых ОСИ.

б) плотность распределения погрешности методики поверки.

в) плотность распределения погрешности ОСИ признанных годными по результатам поверки .

г) плотность распределения погрешности ОСИ, забракованных по метроло-

$$\beta_n = 2\int_0^{\delta} f_1(x)\left[\int_{-\infty}^{-\delta+x} f_2(y)\,dy + \int_{\delta-x}^{\infty} f_2(y)\,dy\right]dx,$$
$$\alpha_n = 2\int_{\delta}^{\infty} f_1(x)\left[\int_{-\delta+y}^{\delta+y} f_2(y)\,dy\right]dx \qquad (2I)$$

δ – предел допускаемой погрешности ОСИ.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МПИ С УЧЕТОМ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Метод назначения МПИ образцовых средств измерений (ОСИ) с учетом их нестабильности зависит от метода поверки ОСИ. Ниже рассмотрены два метода поверки.

4.1.1. Метод поверки, при котором изымают из эксплуатации ОСИ, основная погрешность или другая контролируемая при поверке метрологическая характеристика (далее – основная погрешность) которых превышает пределы допускаемых значений. Он соответствует методу 1 п.1.2.

4.1.2. Метод поверки, при котором изымают из эксплуатации ОСИ, нестабильность которых за последний МПИ превышает пределы допускаемых значений, а остальные ОСИ градуируют. Он соответствует методу 2 п.1.2.

4.2. Критерием корректировки МПИ, в соответствии с п.1.5., является средняя доля $\mathcal{E}$ скрытых метрологических отказов, выявленных по результатам периодической поверки.

При методе поверки 4.1.1. определяется $\mathcal{E}$, средняя по совокупности ОСИ одного типа, поверяемых данным органом.

При методе поверки 4.1.2. определяется $\mathcal{E}^{(i)}$, характеризующая как совокупность ОСИ данного типа в целом, так и каждое ОСИ в отдельности.

4.3. Исходные данные

4.3.1. Показатели нестабильности

4.3.1.1. Среднее значение $m(t)$ и СКО $\sigma(t)$ изменения погрешности за время t или средняя скорость $m_v(t)$ и СКО скорости $\sigma_v(t)$ дрейфа погрешности в момент t.

Эти показатели определяются путем статистической обработки результатов периодических поверок ОСИ или определительных испытаний на надежность. Объем выборки должен составлять не менее 50.

4.3.1.2. При поверке в соответствии с п.4.1.1 – вид закона распределения изменения погрешности ОСИ за время t – $g_t(x)$. Рекомендуется принимать нормальный закон

$$g_t(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma(t)}\, e^{-\frac{(x-m(t))^2}{2\sigma^2(t)}} \qquad (4.1)$$

4.3.1.3. Допускается при поверке в соответствии с п.4.1.1 вместо данных, приведенных в п.4.3.1.1 и 4.3.1.2, указывать

I) Для единичного ОСИ под величиной $\mathcal{E}$ понимается вероятность метрологического отказа за МПИ.

гистограмму (статистическую плотность) распределения изменения погрешности за время t .

4.3.2. Начальное распределение погрешности ОСИ

4.3.2.1. При поверке ОСИ в соответствии с п.4.1.1 - плотность распределения погрешности градуировки ОСИ после изготовления и ремонта $f_0(x)$, его среднее значение $m(0)$ и СКО $\sigma(0)$.

Допускается вместо $f_0(x)$, $m(0)$ и $\sigma(0)$ указывать гистограмму распределения начальной погрешности ОСИ.

4.3.2.2. Рекомендуется при отсутствии экспериментальных данных принимать

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(0)} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2(0)}}, \qquad (4.2)$$

где $\sigma(0)$ - СКО погрешности поверки ОСИ, принимаемое равным $\frac{1}{3}$ от предела допускаемой погрешности (доверительной погрешности) поверки, устанавливаемого государственной поверочной схемой.

4.3.2.3. При поверке ОСИ в соответствии с п.4.1.2 - среднее значение $m(0)$ и СКО $\sigma(0)$ распределения погрешности градуировки после изготовления.

$m(0)$ и $\sigma(0)$ определяются в процессе метрологической аттестации эталона или ОСИ, применяемого при поверке ОСИ, для которых определяется МПИ. При отсутствии этих данных рекомендуется принимать $m(0) = 0$, $\sigma(0) = \frac{1}{3}\delta_0$,
где δ_0 - доверительная погрешность поверки ОСИ, установленная государственной поверочной схемой.

4.3.3. Пределы допускаемых значений основной погрешности ОСИ $\pm \Delta_g$ и (или) ее нестабильности за МПИ $\pm \Delta_c$.

4.3.4. Наработка на явный отказ ОСИ $T_я$ - только при поверке в соответствии с п.4.1.1.

$T_я$ определяется на этапе разработки ОСИ расчетным путем или по результатам определительных испытаний и подтверждается контрольными испытаниями на надежность.

4.4. Определение МПИ при поверке в соответствии с п.4.1.1.

4.4.1. Определение МПИ проводится путем решения интегрального уравнения, приведенного в Приложении 2, для каждого временного сечения t , взятого с шагом $\Delta\tau$ = 3 мес., и нахождения максимального значения t , удовлетворяющего условию $\varepsilon(t) \leq \varepsilon$

4.4.2. При использовании программы следует иметь в виду, что $P_{min} = 1 - \varepsilon$, где ε соответствует п.4.2., а P_{min} - минимально допустимое значение вероятности метрологической исправности ОСИ в момент поверки. Остальные обозначения в программе соответствуют п.4.3.

4.4.3. Пример расчета МПИ данным методом приведен в Приложении 4.1

4.5. Определение МПИ при поверке в соответствии с п.4.1.2.

4.5.1. МПИ находится методом последовательных приближений, как корень уравнения

$$P_{ми}(t) = \Phi\left(\frac{\Delta_д + m(0) + m(t)}{\sqrt{\sigma^2(0) + \sigma^2(t)}}\right) + \Phi\left(\frac{\Delta_д - m(0) - m(t)}{\sqrt{\sigma^2(0) + \sigma^2(t)}}\right) = 1 - \varepsilon \quad , (4.3)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ -

- табулированная функция Лапласа,

$$m(t) = \int_0^t m_v(\tau) d\tau,$$
$$\sigma^2(t) = \int_0^t \sigma_v^2(\tau) d\tau. \quad (4.4)$$

4.5.2. Обоснование формулы (4.3) приведено в Приложении 4.1

4.5.3. Пример расчета МПИ данным методом приведен в Приложении 4.2

Приложение 4.1.

Примеры расчета МПИ по данным о нестабильности ОСИ

I. Расчет МПИ по п.4.4.

Оценивается МПИ устройств телеизмерения напряжения в энергосистемах МКТ-I по данным о результатах их первичных и периодических поверок. Объем выборки - I63.

I.I. Исходные данные

$$\mathcal{E} = 0{,}06, \quad \Delta_g = 1{,}5\ \%, \quad T_{cp} = 10 \text{ лет}.$$

Статистическая плотность распределения погрешности вновь настроенных устройств $f_0(x)$ и статистическая плотность распределения приращения погрешности $g_t(x)$ за I и 2 года приведены в таблице.

I.2. Результаты моделирования плотности распределения погрешности $f_t(x)$, наблюдаемой при поверке, при МПИ, равном I и 2 годам, приведены в таблице.

Вероятность метрологической исправности СИ

$$P_{МИ}(t) = \sum_{i=1}^{15} f_t(x_i),$$

где i - номер интервала,

$i = 15$ соответствует последнему интервалу $[1{,}4;\ 1{,}5]$, удовлетворяющему требованию метрологической исправности СИ

$$x \in \Delta_g.$$

При $t_1 = 1$ году $P_{МИ}(t_1) = 0{,}937 \approx 0{,}94$,

при $t_2 = 2$ года $P_{МИ}(t_2) = 0{,}896 \approx 0{,}90$.

Таким образом, выбирается МПИ, равный I году, как отвечающий условию

$$P_{МИ}(\tau) \geq 1 - \mathcal{E}$$

Таблица

Статистические плотности распределения $f_0(x)$, $g_t(x)$ и $f_t(x)$

Номер интервала №	Пределы значений погрешности x, %	Начальная плотность $f_0(x)$	Плотность нестабильности $g_t(x)$		Плотность погрешности $f_t(x)$	
			t_1 = I год	t_2 = 2 года	t_1 = I год	t_2=2г
I	2	3	4	5	6	7
I	0 - 0,I	0	0,760	0,744	0	0
2	0,I - 0,2	0	0,I36	0,I60	0	0

I	2	3	4	5	6	7
3	0,2 - 0,3	0,042	0,034	0,032	0	0
4	0,3 - 0,4	0,042	0	0	0,033	0,031
5	0,4 - 0,5	0,084	0	0	0,038	0,038
6	0,5 - 0,6	0	0	0	0,073	0,071
7	0,6 - 0,7	0,028	0,050	0,032	0,013	0,015
8	0,7 - 0,8	0,042	0	0	0,023	0,024
9	0,8 - 0,9	0,286	0	0	0,037	0,036
I0	0,9- I,0	0,224	0	0	0,230	0,221
II	I,0 - I,I	0,084	0	0	0,217	0,216
I2	I,I - I,2	0,014	0	0	0,108	0,109
I3	I,2 - I,3	0,028	0	0	0,034	0,034
I4	I,3 - I,4	0	0	0	0,027	0,006
I5	I,4 - I,5	0,126	0	0,032	0,104	0,096
I6	I,5 - ∞	0	0	0	0,063	0,104
Σ		I,0	I,0	I,0	I,0	I,0

2. Расчет МПИ по п.4.5.

2.I. Исходные данные

$$\varepsilon = 0{,}06\ ;\quad m(0) = 0\ ;\quad \sigma^2(0) = 0{,}1\,\Delta_g^2\ ;$$

$$m_v(t) = 0{,}3\,\Delta_g \frac{1}{год}\ ;\quad \sigma_v^2(t) = 0{,}2\,\Delta_g^2 \frac{1}{год}$$

где Δ_g - предел допускаемой погрешности ОСИ.

2.2. При этих исходных данных выражение (4.2) примет следующий вид

$$P_{МИ}(t) = \Phi\left(\frac{1+0{,}3t}{\sqrt{0{,}1+0{,}2t}}\right) + \Phi\left(\frac{1-0{,}3t}{\sqrt{0{,}1+0{,}2t}}\right) = 0{,}94$$

где t измеряется в годах.

2.3. Рассчитаем $P_{МИ}(t)$ при $t_1 = 0{,}5$ года, $t_2 = 0{,}75$ года, $t_3 = I$ год.

$$P_{МИ}(t_1) = \Phi\left(\frac{1{,}15}{\sqrt{0{,}2}}\right) + \Phi\left(\frac{0{,}85}{\sqrt{0{,}2}}\right) = 0{,}965,$$

$$P_{МИ}(t_2) = \Phi\left(\frac{1{,}225}{\sqrt{0{,}25}}\right) + \Phi\left(\frac{0{,}775}{\sqrt{0{,}25}}\right) = 0{,}934,$$

$$P_{МИ}(t_3) = \Phi\left(\frac{1,3}{\sqrt{0,3}}\right) + \Phi\left(\frac{0,7}{\sqrt{0,3}}\right) = 0,894.$$

2.4. Результаты расчета показывают, что искомый МПИ должен находиться в интервале между t_1 и t_2. Примем τ = 8 мес. = $= \frac{2}{3}$ года.

$$P_{МИ}(\tau) = \Phi\left(\frac{1,2}{\sqrt{0,233}}\right) + \Phi\left(\frac{0,8}{\sqrt{0,233}}\right) = 0,946$$

Таким образом, МПИ должен составлять 8 месяцев.

Приложение 42.

Обоснование методов расчета МПИ ОСИ
с учетом их нестабильности

I. Метод, изложенный в п.4.3.

I.I. В [7] показано, что плотность распределения погрешности СИ в момент его поверки $f_t(x)$, взятая по совокупности СИ одного типа, поверяемой данным поверочным органом, удовлетворяет интегральному уравнению Фредгольма 2-го рода

$$f_t(x) = \frac{\varphi(x)}{P_c(t)} - P_3(t)\int_{-\infty}^{\infty} f_t(\xi)\,R(x,\xi)\,d\xi, \quad -\infty < x,\xi < \infty, \tag{I}$$

где

$$\varphi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_0(\xi)\,g_{1t}(x-\xi)\,d\xi, \tag{2}$$

$f_0(x)$ - плотность распределения погрешности x в начальный момент времени,

$$g_{1t}(x) = \begin{cases} g_t(x) & \text{при } |x| \le \Delta_c, \\ 0 & \text{при } |x| > \Delta_c, \end{cases} \tag{3}$$

$g_t(x)$ - плотность распределения изменения погрешности ОСИ за время t,

$\pm\Delta_c$ - пределы допускаемого изменения погрешности за МПИ,

$$P_c(t) = \int_{-\Delta_c}^{\Delta_c} g_t(x)\,dx, \tag{4}$$

$$R(x,\xi) = \varphi(x) - g_{1t}(x-\xi). \tag{5}$$

I.2. Вероятность метрологической исправности ОСИ в момент t равна

$$P_{MU}(t) = \int_{-\Delta_t}^{\Delta_t} f_t(x)\,dx. \tag{6}$$

Доля скрытых отказов $\varepsilon(t)$, наблюдаемых в момент поверки, равна

$$\varepsilon(t) = 1 - P_{MU}(t) \tag{7}$$

I.3. Чем больше t, тем меньше $P_{MU}(t)$ и больше $\varepsilon(t)$. Поэтому МПИ находится из уравнения

$$\varepsilon(\tau) = \varepsilon \quad , \tag{8}$$

как максимальное t, удовлетворяющее условию

$$\varepsilon(t) \le \varepsilon$$

1.4. В [8] приведено описание данного метода расчета МПИ.

2. Метод, изложенный в п.4.4.

2.1. В [9] показано, что при медленном (с конечной скоростью) изменении метрологических характеристик СИ в процессе эксплуатации справедливо дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial P(t,x,y)}{\partial t} + \mu(x,t)\frac{\partial P(t,x,y)}{\partial x} + \mu(y,t)\frac{\partial P(t,x,y)}{\partial y} = 0, \qquad (9)$$

где $P(t,x,y) = \int_x^y f_t(\xi)d\xi$ - вероятность того, что в момент t погрешность ξ будет находиться в интервале $[x, y]$,

$f_t(\xi)$ - плотность распределения погрешности ξ в момент t,

$\mu(\xi,t)$ - регрессионная зависимость скорости изменения погрешност в момент t от ее накопленного значения ξ, равная математическому ожиданию скорости дрейфа погрешности в момент t при условии что погрешность в этот момент равна ξ,

x, y - любые значения погрешности.

2.2. Решением (9) является функция

$$f_t(\xi) = f_0\left(\Psi(\xi,t)\right)\frac{\partial \Psi(\xi,t)}{\partial \xi}, \qquad (10)$$

где $\Psi(\xi,t)$ - решение уравнения регрессии

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \mu(\xi,t). \qquad (11)$$

2.3. При линейной регрессии скорости изменения погрешности от ее накопленного значения, типичной для износа и старения многих СИ, т.е. при

$$\mu(\xi,t) = m_v(t) + \frac{r(t)\sigma_v(t)}{\sigma_s(t)}\left(\xi - m_s(t)\right), \qquad (12)$$

выражение (10) примет следующий вид

$$f_t(\xi) = f_0\left[\left(\xi - m_s(t)\right)\frac{\sigma_s(0)}{\sigma_s(t)} + m_s(0)\right]\frac{\sigma_s(0)}{\sigma_s(t)}. \qquad (13)$$

В (12) и (13) $m_s(t)$, $m_v(t)$ - средние значения погрешности ξ и скорости ее изменения $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ в момент t; $\sigma_s(t)$, $\sigma_v(t)$ - СКО значений ξ и $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ в момент t; $r(t)$ - коэффициент корреляции ξ и $\frac{\partial \xi}{\partial t}$

в момент t , $f_0(\xi)$ - плотность нормального распределения ξ .

2.4. С учетом п.2.3 плотность распределения погрешности x в момент t равна

$$f_t(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma_\Sigma(t)}\, e^{-\frac{(x-m_\Sigma(t))^2}{2\sigma_\Sigma^2(t)}}, \qquad (14)$$

а вероятность метрологической исправности СИ в момент t

$$P_{МИ}(t) = \int_{-\Delta_3}^{\Delta_3} f_t(x)dx = \Phi\left(\frac{\Delta_3 + m_\Sigma(t)}{\sigma_\Sigma(t)}\right) + \Phi\left(\frac{\Delta_3 - m_\Sigma(t)}{\sigma_\Sigma(t)}\right), \qquad (15)$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{\xi^2}{2}} d\xi$.

2.5. МПИ должен находиться из уравнения

$$P_{МИ}(\tau) = 1 - \varepsilon \qquad (16)$$

Учитывая, что $m_\Sigma(t) = m(0) + m(t)$, $\sigma_\Sigma(t) = \sqrt{\sigma^2(0) + \sigma^2(t)}$, получим выражение (4.2).

5. КОРРЕКТИРОВКА МПИ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ЗАТРАТ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОСИ.

Определение величины МПИ производится путем оптимизации целевой функции, в качестве которой служит сумма затрат на метрологическое обслуживание и потерь от применения неисправного ОСИ по назначению:

$$З = \frac{I}{K_{ти}}\left\{C_{оси} + \frac{I}{T_ц}\left[C_п(t_3 + t_4) + C_р\tau_р + C^п_{оси}t_2\right]\right\}, \quad (6.1)$$

где $C_{оси}$ - приведенные затраты на приобретение и эксплуатацию оборудования без учета затрат на метрологическое обслуживание ОСИ, отнесенные к единице времени (руб/час)

$T_ц$ - математическое ожидание времени жизненного цикла СИ,

$$T_ц = t_I + t_2 + t_3 + t_4 + \tau_{ож} + \tau_р, \quad (6.2)$$

где $t_I, t_2, t_3, t_4, \tau_{ож}, \tau_р$ - математические ожидания времени нахождения ОСИ в состояниях I,2,3,4 соответственно во время цикла $T_ц$:

состояние I - ОСИ работоспособно и применяется по назначению;

состояние 2 - ОСИ неработоспособно, но применяется по назначению;

состояние 3 - Оси работоспособно и поверяется;

состояние 4 - ОСИ неработоспособно и поверяется;

$\tau_{ож}$ - время ожидания в очереди на ремонт;

$\tau_р$ - время выполнения ремонта.

$C_п$ - стоимость одного часа поверочных работ (руб/час);

$C_р$ - стоимость одного часа ремонтных работ (руб/час);

$C^п_{оси}$ - стоимость потерь из-за использования неисправного ОСИ по назначению;

$K_{ти}$ - коэффициент технического использования

$$K_{ти} = \frac{t_1 + t_2}{T_ц} \qquad (6.3)$$

В качестве целевой функции могут использоваться такие показатели надежности, как коэффициент готовности

$$K_г = \frac{t_1}{t_1 + t_2 + \tau_{ож} + \tau_р} \qquad (6.4)$$

и коэффициент достоверности показаний ОСИ, определяемый, как вероятность того, что применяемое ОСИ работоспособно и его показания соответствуют истинным значениям измеряемой величины

$$K_д = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \qquad (6.5)$$

В качестве параметров метрологического обслуживания ОСИ используются также вероятность необнаруженного брака - $\alpha_п$, и вероятность фиктивного брака - $\beta_п$ при поверке, вероятность возвращения ОСИ из ремонта со скрытым отказом (вероятность скрытого отказа после ремонта) - $\beta_р$, продолжительность поверки $\tau_п$, период проведения поверки $T_п = \tau + \tau_п$, где τ - межповерочный интервал, $\tau_р$, $\tau_{ож}$ - время выполнения ремонта и ожидания в очереди

В качестве характеристик отказов (использована: средняя наработка) на явный отказ - $T_я$ и средняя наработка на скрытый отказ - $T_с$.

Предполагается, что отказы подчинены экспоненциальному закону распределения вероятностей их возникновения, а также, что явные и скрытые отказы возникают независимо друг от друга.

В приложении 6.1 дана программа оптимизации величин $K_д$, $K_г$, $K_{ти}$, алгоритм работы которой следующий:

задаются параметры ОСИ: $\tau_п$, $\tau_р$, $\tau_{ож}$, $\alpha_п$, $\beta_п$, $T_п$, $\beta_р$;

задаются характеристики отказов $T_с$ и $T_я$;

используя формулы (1.62) определяются t_1, $t_1 + t_2$, $T_п$;

по формулам (6.3÷6.5) вычисляются $K_д$, $K_г$, $K_{ти}$;

определяется оптимальное значение межповерочного интервала $T_п$, при котором достигается экстремум целевой функции (6.1), при ограничениях на показатели надежности. Допускаются

различные варианты при изменении фиксированных значений параметров метрологического обслуживания.

Пример расчета приведен на рис.6.1, 6.2, 6.3. Из рис.6.1 видно, что минимум целевой функции определяется характеристиками скрытых и явных отказов и параметров метрологического обслуживания. В частности, минимальное значение $З_{ОИ}$ достигается при отношении $T_О/T_Я$ 2,15 ÷ 4,64.

С уменьшением межповерочного интервала $T_П$ коэффициент достоверности $K_Д$ стремится к единице (рис.6.2). Однако, в соответствии с рис.6.3 уменьшение $T_П$ не всегда целесообразно, т.к., начиная с некоторого значения $T_П$ коэффициент готовности начинает уменьшаться. Это обусловлено тем, что период проведения поверочных работ $T_П$ становится сравним с временем выполнения поверки $\tau_П$. Таким образом, локальный минимум целевой функции не всегда может служить основанием для выбора межповерочного интервала $T_П$. При наличии ограничений на коэффициенты готовности и достоверности оптимум может сдвигаться на край области допустимых значений.

6. СПИСОК ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МИ

$C_{оси}$ – приведенные затраты на приобретение и эксплуатацию без учета затрат на метрологическое обслуживание ОСИ, отнесенные к единице времени.

$C^{п}_{оси}$ – стоимость потерь из-за использования неисправного ОСИ по назначению.

$C_{п}$ – стоимость одного часа поверочных работ для ОСИ.

$C_{р}$ – стоимость одного часа ремонтных работ для ОСИ.

$f(x)$ – функция плотности распределения контролируемых погрешностей поверяемых ОСИ.

$f(y)$ – функция плотности распределения погрешности методики поверки ОСИ.

$f_0(x)$ – плотность распределения погрешности ОСИ после изготовления или ремонта.

$f_t(x)$ – плотность распределения погрешности ОСИ в момент времени t .

$\Phi(u)$ – нормированная функция Лапласа.

$g_t(x)$ – плотность распределения скорости изменения погрешности ОСИ за время t .

$I_p(x)$ – интервал, в котором находится случайная величина x с заданной вероятностью P.

i – номер межповерочного интервала.

j – номер точки диапазона, в которой поверяется или градуируется ОСИ.

$K_г$ – коэффициент готовности.

$K_д$ – коэффициент достоверности показаний ОСИ.

$K_и$ – коэффициент использования.

$K_н$ – нормативный коэффициент перевода наработки в часах в месяцы.

$K_р$ – коэффициент, учитывающий наличие самоповерки ОСИ.

$K_{ти}$ – коэффициент технического использования ОСИ.

M – количество поверяемых точек.

n_M – количество метрологических отказов.

m – количество ОСИ с метрологическим отказом.

m_{max} – максимальное число бракуемых ОСИ при поверке.

$m_S(t), m_V(t)$ – математическое ожидание (среднее значение) погрешности ОСИ и скорости ее изменения в момент времени t.

N – объем выборки.

N_n – математическое количества поверок до момента явного отказа.

n – количество явных отказов.

n_{nj} – количество отказов по j-й причине.

$P_{Mи}$ – вероятность метрологической исправности.

P_{Mi} – вероятность отсутствия метрологических отказов за i-й МПИ.

$P_{Яi}$ – вероятность отсутствия явных отказов за i-й МПИ.

P_{Mj} – вероятность отсутствия метрологического отказа за i-й МПИ в j-й поверяемой точке.

$P_{лоi}$, $P_{нoi}$ – условные вероятности ложного и необнаруженного метрологического отказа при поверке за i-й МПИ.

$P^{o}_{нoi}$ – условная вероятность необнаруженного метрологического отказа системой самоповерки за i-й МПИ.

$P_{лoj}$ – условная вероятность ложного отказа при поверке для j-й поверяемой точки.

$P^{o}_{лoe}$; $P^{o}_{нoe}$ – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов системой самоповерки для e-й поверяемой точки, охваченной системой самоповерки.

$P(t)$ – вероятность безотказной работы за время t.

$P_{Mи}(t)$ – вероятность метрологической исправности за время t.

q – коэффициент коррекции МПИ.

q_i – коэффициент возникновения i-й причины, вызывающей отказ.

S – количество причин, вызывающих возникновение отказа.

z_{nj} – весомость отказа по j-й причине.

$T_{ср}$ – средняя наработка на отказ.

$T_{я}$ – средняя наработка на явный отказ.

$T_{м}$ – средняя наработка на метрологический отказ.

$T_{мj}$ – величина наработки на отказ $T_{м}$ в j-й поверяемой точке.

$T_{яi}$; $T_{мi}$ – величины $T_{я}$ и $T_{м}$ за i-й МПИ.

$T_{в}$ – среднее время восстановления.

$T_{п}$ – период проведения поверки с учетом ее продолжительности.

$T_{мр}$ – математическое ожидание времени межремонтного интервала.

$T_{ц}$ – математическое ожидание времени жизненного цикла ОСИ.

t' – математическое ожидание интервалов времени от момента окончания последней поверки до момента отказа.

α – соотношение предела допускаемой погрешности метода поверки ОСИ (или доверительной погрешности поверки ОСИ, установленной поверочной схемой) к пределу допускаемой погрешности поверяемого ОСИ.

α_{o} – допустимая относительная погрешность оценки какого-либо параметра x.

$\alpha_{п}$ – доля необнаруженного брака при поверке.

α_j, β_j – параметры α-распределения для j-й поверяемой точки.

$\beta_{п}$ – доля фиктивно забракованных ОСИ при поверке.

$\beta_{р}$ – вероятность метрологического отказа после ремонта.

γ – относительный контрольный (предупреждающий) допуск при браковке ОСИ.

$\delta_{оси}$ – предел допускаемой относительной погрешности ОСИ.

$\delta'_{оси}$ – контрольный допуск, по которому происходит бракование ОСИ. $(\delta'_{оси} < \delta_{оси})$.

δ_{o} – доверительная погрешность поверки ОСИ, установленная государственной поверочной схемой.

$\delta_{мп}$ – предел допускаемой относительной погрешности метода поверки ОСИ.

δ_{max} – максимальное значение относительной погрешности у ОСИ с метрологическим отказом.

$\pm\Delta_д$ – пределы допускаемых значений основной погрешности ОСИ.

$\pm\Delta_с$ – пределы допускаемых значений нестабильности ОСИ.

$\Delta^j_{ок}$ – значение погрешности К-го ОСИ в j-й поверяемой точке до начала испытаний или при выпуске СИ из производства.

$\Delta^j_д$ – предел допускаемой погрешности ОСИ в j-й поверяемой точке.

$\Delta^o_д$ – предел допускаемой погрешности ОСИ, используемого в качестве образцового при поверке ОСИ.

$\hat{\Delta}_{сп}$ – оценка систематической составляющей погрешности.

$\mathcal{E}$ – средняя доля скрытых метрологических отказов.

$\tilde{\mathcal{E}}$ – оценка средней доли метрологических отказов, полученная статистическим путем.

$\mathcal{E}'$ – оценка величины $\mathcal{E}$ с учетом брака поверки.

$\Delta\mathcal{E}$ – погрешность определения оценки $\tilde{\mathcal{E}}$ при поверке.

$\tilde{\mathcal{E}}'$ – оценка величины $\mathcal{E}$ с учетом явных отказов.

$\tilde{\mathcal{E}}_{min}, \tilde{\mathcal{E}}_{max}$ – максимальное и минимальное возможное значение оценки средней доли метрологически неисправных ОСИ для назначенного значения $\mathcal{E}$ в группе из N приборов при 95% доверительной вероятности.

Θ – отношение максимального значения погрешности метрологически негодного ОСИ к концу МПИ к нормируемому пределу его допускаемой погрешности.

$\mathcal{K}$ – доля метрологических отказов в общем числе отказов.

$\mathcal{N}$ – поток отказов.

$\mu(x)$ – третий центральный момент случайной величины x.

ρ – коэффициент асимметрии.

$\sigma(x)$ – среднеквадратическое отклонение случайной величины x.

$\hat{\sigma}(x)$ – оценка СКО случайной величины x.

σ_j - СКО погрешности поверяемого ОСИ в j -й точке.

$\sigma_x(t), \sigma_v(t)$ - СКО значения погрешности и скорости дрейфа погрешности ОСИ.

τ - значение МПИ.

τ_o - оптимальное значение МПИ.

τ_1 - значение первичного МПИ.

τ_i - значение i-го МПИ.

$\tau_п$ - ореднее время выполнения поверки ОСИ.

τ_{min}, τ_{max} - соответственно минимальное и максимальное время наступления метрологического отказа в j -й поверяемой точке.

τ_k^j - наработка К-го ОСИ до наступления метрологического отказа в j -й поверяемой точке.

$\Delta\tau$ - шаг дискретизации МПИ τ.

$\tau_{ож}$ - ореднее время ожидания в очереди на ремонт.

$\tau_р$ - ореднее время выполнения ремонта.

gost.e-ecolog.ru