

27

INTERVALY REKALIBRACÍ PRACOVNÍCH MĚŘIDEL

M 29/98

Zpracovatel:

Ing. Antonín Chybík

říjen 1998

OBSAH:

1. Úvod
2. Přesnost a spolehlivost měření
3. Nejistota a spolehlivost měření
4. Kalibrační intervaly
5. Metody stanovování kalibračních intervalů
6. Užití metod stanovení kalibračních intervalů
7. Měřicí zařízení nepodléhající pravidelné kalibraci
8. Stanovování prvotních kalibračních intervalů
9. Možnosti úprav kalibračních intervalů
10. Úkoly řízení kalibračního intervalu
11. Terminologie
12. Závěr

1. ÚVOD

Je dostatečně známo, že existuje úzká souvislost mezi metrologickým zabezpečením organizace a činností jí prováděnou. To platí především pro výrobní organizace. Převážná část parametrů výroby musí být objektivně kvantitativní.

Stanovené parametry výrobků je třeba určit správným měřením. Pokud není měření jednotné a správné, dochází k rozporným a nesprávným výsledkům měření, což mívá za následek vznik nekvalitní výroby a její následné ztráty, které mohou dosahovat značných hodnot.

Všeobecně se uznává, že měřením získané informace jsou správné, objektivní a rozhodující. Proto, aby uvedené platilo, je třeba splnit několik podmínek. Mimo správně zvolené metody měření, dostatečně kvalifikované pracovníky a vhodné podmínky měření je zapotřebí, aby toto bylo prováděno správným měřicím zařízením. Toho, aby vhodně zvolené měřicí zařízení bylo dlouhodobě správné a měření jím prováděné bylo spolehlivé, dosahujeme jeho systematicky prováděnou kalibrací.

Doba mezi jednotlivými kalibracemi může být určena rozličně. Optimální stanovení rekalibračních intervalů měřicího zařízení je jedním z faktorů ovlivňujících zajištění přijatelné přesnosti a spolehlivosti prováděných měření na straně jedné a nákladů na metrologické zabezpečení výroby na straně druhé.

Problematice stanovení kalibračních intervalů je třeba věnovat mimořádnou pozornost v případech, kdy při zjištění neshodných měřicích zařízení se jen velmi těžko provádí náprava nesprávně provedených měření. Jedná se především o měření prováděná v horké části atomových reaktorů, v kosmonautice, ponorkách a dalších těžce přístupných místech. Tady se vyplatí používat sice dražší, ale vysoce spolehlivá měřicí zařízení umožňující stanovení delších kalibračních intervalů.

Existuje velké množství faktorů, které ovlivňují frekvenci kalibrace a které by měly být brány do úvahy organizacemi používajícími měřicí zařízení.

Účelem řešení tohoto úkolu je poskytnout návod pro stanovování optimálního období mezi následnými kalibracemi měřicího zařízení podléhajícího pravidelné kalibraci. Vzhledem k tomu, že každé měřicí zařízení může plnit různé úkoly a může být různě omezováno, není cílem tohoto úkolu snaha normalizovat kalibrační intervaly, ale poskytnout doporučení pro jejich analýzu a regulaci.

Stanovení a regulace kalibračních intervalů bývá jedním z nejkomplicovanějších a nejméně příjemných hledisek řízení kalibrace.

V současné době neexistuje žádná použitelná jednotná metoda stanovení kalibračních intervalů. Příčin je několik.

První z nich spočívá v tom, že kalibrace se týká mnoha oborů měření a mnoha druhů měřicího zařízení.

Druhou příčinou je to, že každá organizace provádějící nebo vyžadující provedení kalibrace měřicího zařízení má svoje požadavky na cenu kalibrace, rozsah a metody kalibrace a její spolehlivost.

Třetí příčinou je skutečnost, že neexistuje shoda v tom, jaké by měly být cíle uvedené metodiky.

Existují dvě základní protichůdná kritéria, která je třeba porovnávat při určování kalibračních intervalů pro každý kus měřicího zařízení, a to:

- a) minimalizovat nebezpečí, že měřicí zařízení přestane vyhovovat specifikaci
- b) minimalizovat náklady na kalibraci.

Požadavky na určování kalibračních intervalů lze obecně charakterizovat následovně:

Měřicí zařízení se musí kalibrovat v pravidelných intervalech stanovených a zachovávaných tak, aby se zajistila přijatelná přesnost a spolehlivost prováděných měření. Spolehlivost je definována jako pravděpodobnost, že metrologické parametry měřicího zařízení zůstanou během stanoveného intervalu v rámci dovolené tolerance. Intervaly musí dodavatel zkrátit nebo se mohou prodloužit, jestliže výsledky předchozích kalibrací ukazují, že taková činnost je pro zachování přijatelné spolehlivosti vhodná.

Podle míry spolehlivosti lze měřicí zařízení rozdělit na:

- měřidla s vysokou mírou spolehlivosti měření, jejichž kalibrační intervaly mohou být relativně dlouhé
- měřidla se střední spolehlivostí měření, která vyžadují častější kalibraci
- měřidla s malou spolehlivostí měření vyžadující relativně velmi častou kalibraci

Stanovení nezdůvodněně krátkého kalibračního intervalu pro vysoce spolehlivá měřidla vede ke ztrátám pracovních a dalších kapacit a k vynakládání zbytečně vysokých nákladů.

Naopak stanovení nezdůvodněně dlouhého kalibračního intervalu pro méně nebo málo spolehlivá měřidla může zapříčinit významnou nespolehlivost měření, vznik nekvalitní výroby či prováděných služeb a s tím související zvýšené náklady a ztrátu důvěry zákazníků.

2. PŘESNOST A SPOLEHLIVOST MĚŘENÍ

Měření prováděná měřicím zařízením musí být dostatečně přesná a spolehlivá. K tomu, aby zařízení splňovala tento požadavek slouží jejich kalibrace, přičemž se vyžaduje, aby měřicí zařízení pracovalo v mezích stanovených specifikací nebo v mezích dovolených tolerancí.

Kontroly přesnosti je dosahováno periodickou kalibrací měřicích zařízení, t.j. jejich porovnáváním s etalony vyšší třídy. Intervaly mezi pravidelnými kalibracemi je třeba stanovit tak, aby se zachovala přijatelná míra důvěry. Jinak řečeno to značí, že měřicí zařízení bude pracovat v mezích dovolených tolerancí.

Spolehlivost měření lze definovat jako pravděpodobnost, že měřicí zařízení provádí měření v mezích dovolených tolerancí a tedy samo je v době použití v mezích tolerance.

Spolehlivost měření ovlivňuje několik faktorů, z nichž je třeba uvést především stálost měřicího zařízení, prostředí používání a uložení a stupeň jeho zatížení při používání.

Požadavky na spolehlivost mají vycházet z účelu, k němuž je měřicí zařízení používáno. Tyto lze specifikovat pomocí cílové spolehlivosti stanovené tak, aby se dosáhlo úrovně spolehlivosti měření slučitelné s požadavky na úkol či použití a s logistickými a ekonomickými omezeními. Tato problematika bude ještě rozebírána v dalších částech této práce.

3. NEJISTOTA A SPOLEHLIVOST MĚŘENÍ

Během používání se v prvcích a uzlech měřicího přístroje, třebaš ideálně vyrobeného, začínají kupit změny způsobené různými jevy a procesy v materiálech. Tyto změny způsobují změny mechanické, energetické a změny teplotního režimu práce. Probíhá proces stárnutí měřicího přístroje.

Vnitřní změny probíhající uvnitř měřicího přístroje vyvolávají změny jeho metrologických charakteristik. Tyto mohou za nepříznivých podmínek dříve nebo později dosáhnout takových rozměrů, že výsledek měření bude zkomolen. V průběhu času může přejít měřicí se základní nepřesnost za hranici stanovenou technickou dokumentací daného měřicího přístroje. Okamžik, kdy základní nepřesnost právě začíná překračovat tuto hranici, určuje okamžik nástupu skryté závady. Struktury poruch takového druhu jsou nazývány metrologickými a spolehlivost s nimi související metrologickou spolehlivostí.

S jistou mírou pravděpodobnosti lze konstatovat, že po provedené kalibraci se parametry měřicího zařízení shodují s jeho provozními specifikacemi a lze je hodnotit „v mezích tolerance“. (Je samozřejmé, že není uvažováno zařízení, které při kalibraci je hodnoceno „mimo meze tolerance“). V průběhu času po provedení kalibrace se mohou parametry měřicího zařízení měnit a jeho shoda se specifikacemi se stane pochybnou. Důvodem je jeho použití, tedy namáhání. Spolehlivost měřicího zařízení klesá a to i tehdy, kdy není používáno a je uloženo, neboť určitému namáhání je vystaveno i v tomto případě. Na tuto skutečnost se často zapomíná, je třeba ji zdůraznit.

Spolehlivost měřicího zařízení časem klesne na bod, kdy se jeho shoda se specifikacemi stane pochybnou. Jakmile pochybnost naroste na nepřijatelnou úroveň, je třeba je znovu kalibrovat. Tato klesající důvěra ve shodu měřicího zařízení se svými specifikacemi je odrazem nárůstu nejistoty měření daného měřicího zařízení.

Pokles spolehlivosti měření pro danou vlastnost se mění podle stupně namáhání zařízení. Pokud se týká přesnosti měřicího zařízení je třeba si uvědomit: nikde není řečeno, že jako odezva na namáhání musí přesnost vždy klesat. Pouze její znalost se stává více nejistou. Za určitých okolností se může přesnost měřicího zařízení v důsledku namáhání zlepšit, zatímco nejistota přesnosti vždy narůstá.

Na meze nejistoty bezprostředně po kalibraci a také kdykoliv po ní má přímý vliv to, co se s měřicím zařízením provádí v průběhu kalibrace, resp. v průběhu konfirmace. Centrování kalibrovaných vlastností (nastavování odchylek parametrů na minimum od konvenčně pravých hodnot) zvyšuje pravděpodobnost, že v době použití bude měřicí zařízení v mezích tolerance. Zvyšuje tedy spolehlivost prováděných měření.

V závislosti na době, po níž je měřicí zařízení namáháno, narůstá nebo v nejlepším případě zůstává konstantní pravděpodobnost, že parametry měřicího zařízení budou mimo dovolené tolerance. Bezprostředně po kalibraci lze považovat parametry měřicího zařízení za úzce omezené uvnitř malého okolí ohraničeného mezemi nejistoty použitého kalibračního systému. S narůstajícím časem narůstá též nejistota měření měřicího zařízení. Výše uvedené malé okolí se rozšiřuje až do určitého okamžiku, v němž plně

využívá dovolené tolerance parametrů. Tento okamžik by měl uživatel znát a zabezpečit rekalibraci zařízení. Tato situace tvoří základ pro modelování spolehlivosti měření a také analýzy kalibračních intervalů.

Předmětem modelování spolehlivosti měření je určení funkční závislosti mezi nárůstem nejistoty vlastností měření a časem, který uplyne od kalibrace. Znalost této funkční závislosti umožňuje určit kalibrační interval, který odpovídá požadované cílové spolehlivosti měření. Metody, které takové modelování používá jsou prognostické, neboť se pokoušejí předpovědět časový interval, který odpovídá sledované spolehlivosti měření. Z hlediska charakteru jejich zjišťování se jedná o statistický postup, neboť modelování spolehlivosti měření se zabývá nárůstem nejistoty.

Předpoklady spolehlivosti měření se vyčíslují ve formě pravděpodobnosti. Odhad spolehlivosti měření 0,95 předpokládá, že 95% kalibrovaných zařízení bude na konci intervalu, k němuž se údaj o spolehlivosti vztahuje, v mezích tolerance.

4. KALIBRAČNÍ INTERVALY

Zavádění nových, moderních měřicích zařízení do používání, zvýšení počtu funkcí, zvětšení počtu rozsahů a soustavné zvyšování požadavků na přesnost měření má za následek zvyšování složitosti měřicích zařízení. Při tom se současně zvyšují požadavky na jakost výroby a spolehlivosti fungování měřicích přístrojů, klade se vyšší důraz na dodržování technologického procesu v průběhu jejich výroby. To a celá řada dalších opatření se provádí proto, aby se počet poruch měřicích přístrojů a počet nesprávných měření jimi provedených snížil na minimum.

Jednou ze základních forem udržení měřicího zařízení v metrologicky správném stavu je jeho pravidelná a správná kalibrace.

Je známo, že při provozu měřicího zařízení v náhodném časovém okamžiku mohou nastat jednak zřejmé poruchy, které lze obvykle zjistit v okamžiku jejich nástupu bez speciální kontrolní aparatury a dále poruchy skryté, které mohou být zjištěny pouze při kalibraci. Okamžik nástupu skrytých poruch nemůže být zjištěn s dostatečnou přesností. Je možné pouze potvrdit, že porucha proběhla v době mezi dvěma kalibracemi.

Z důvodů, které budou uvedeny v další části, není možné stanovit jednotnou dobu mezi dvěma kalibracemi různých měřicích zařízení.

V praxi se velmi často setkáváme s nevhodně stanovenou délkou kalibračních intervalů. Část měřicích přístrojů s vysokou stabilitou metrologických charakteristik se kalibruje častěji, než je s ohledem na potřeby přesnosti a spolehlivosti nutné, což má za následek vynaložení zbytečných nákladů. Na druhé straně, určitá část měřicích přístrojů se kalibruje méně často, než je vzhledem k jejich vlastnostem a používání nutné.

Délku kalibračních intervalů je třeba stanovit tak, aby:

- a) byla brána do úvahy specifiky příslušných měřicích přístrojů a podmínky jejich používání,
- b) byly v souladu s potřebami spolehlivosti a nebyly vynakládány náklady na zbytečnou kalibraci.

Jak již bylo uvedeno, každá kalibrace měřicího zařízení má sloužit k odhalení případných metrologických poruch. Termín provedení kalibrace musí být svázán s pravděpodobností bezporuchového provozu ve vztahu k metrologickým selháním.

V pracích zahraničních autorů zabývajících se otázkami odůvodněného stanovení délky kalibračních intervalů bývají uvedeny tři směry:

- určení délky kalibračních intervalů na základě kalibrační historie, především statistiky poruch,
- určení délky kalibračních intervalů na základě ekonomického kritéria,
- stanovení délky prvotních kalibračních intervalů s jejich následující korekcí během celé doby používání měřicího přístroje

Pokud jsou známy ukazatele metrologické spolehlivosti měřicího zařízení je první z uvedených způsobů určení délky kalibračních intervalů obzvláště efektivní, proto se s ním poněkud blíže seznámíme.

Jako kritérium pro určení délky kalibračních intervalů může v tomto případě sloužit přípustná pravděpodobnost metrologické poruchy v čase mezi kalibracemi. Jinak řečeno, délka kalibračního intervalu se stanovuje tak, aby při každé kalibraci nepřekročilo meze tolerance více než

$$(1 - \varepsilon) \cdot 100\%$$

ze všech měřicích přístrojů uvažovaného typu nebo třídy,

kde ε je pravděpodobnost metrologické poruchy, stálá po celou dobu kalibračního intervalu nebo celé doby používání měřicího zařízení.

Někdy bývá toto kritérium nazývané technickoprovozním a ε se interpretuje jako průměrný podíl přístrojů uznaných při kalibraci nesprávnými.

V současné době se pravděpodobnost určuje pomocí hodnocení beroucího do úvahy nejen technicko provozní ukazatele, ale též ukazatele ekonomické.

Pro etalonové měřicí přístroje a přístroje provádějící důležitá měření se hodnota ε se volí dostatečně malá (od 0,01 do 0,1). U pracovních měřidel dosahuje až 0,3.

V pracích některých autorů se používá koeficient metrologické způsobilosti (vhodnosti) měřicího přístroje

$$k_d = 1 - \varepsilon ,$$

který se určuje v závislosti na podmínkách aplikace měřicího zařízení.

Pro běžné použití měřicích přístrojů se volí $k_d = 0,80$ až $0,85$. Pro měřicí přístroje používané v technologických postupech se koeficient metrologické způsobilosti zvyšuje na $k_d = 0,90$ až $0,98$ a pro měřicí přístroje provádějící obzvláště důležitá měření se volí $k_d = 0,99$ až $0,995$.

Při určování délky kalibračních intervalů podle ekonomického kritéria se řeší optimalizace intervalu mezi prověrkami a minimalizují se náklady na použití měřicího zařízení. Jako výchozí informace při řešení této úlohy se použijí údaje o ceně kalibrace, průměrné ceně opravy měřicího zařízení v případě zjištění metrologické poruchy, ztrátě způsobené vynětím měřicího přístroje z používání a také ztrátě plynoucí z používání metrologicky nesprávného měřicího zařízení. Poslední údaj se zjišťuje neobyčejně těžko, poněvadž park měřicích zařízení je veliký, jedny a tytéž typy měřicích přístrojů se používají pro

řešení úloh různé úrovně důležitosti a následně, ztráta z používání metrologicky nesprávných měřicích zařízení může být hodně rozdílná.

Velmi výhodnou metodou se jeví stanovení délky kalibračních intervalů s následující korekcí. V tomto případě se již při minimální výchozí informaci stanovuje délka prvotního kalibračního intervalu a výsledky následujících kalibrací se použijí jako data vhodná pro korekci intervalů. Přirozeně základní práce spočívá v určení délky prvotních kalibračních intervalů.

Při nedostatečné znalosti metrologické spolehlivosti daných měřicích zařízení je možné pro stanovení délky prvotních kalibračních intervalů jako výchozí data použít údaje o bezporuchovosti uváděné výrobcem v technické dokumentaci měřicích zařízení.

Máme-li dispozici kritéria dovolené pravděpodobnosti metrologické poruchy v čase mezi kalibracemi, budeme při stanovení délky kalibračního intervalu vycházet při z následujícího vztahu

$$p(\tau) = 1 - \varepsilon \quad (1)$$

2. kde $p(\tau)$ je pravděpodobnost metrologické poruchy

Pokud lze pravděpodobnost popsat vztahem

$$p(\tau) = \exp(-\lambda t), \text{ lze psát}$$

$$\tau = -\ln(1-\varepsilon) / \lambda \quad (2)$$

kde λ je intenzita poruch měřicího zařízení

Je-li v technické dokumentaci určena střední doba do poruchy T nebo pravděpodobnost bezporuchového provozu za určený čas $p(t)$, pak intenzita poruch je určena vztahem

$$\lambda = 1/T \quad \text{nebo}$$

$$\lambda = -\ln p(t) / t$$

a pak podle vztahu (2) se vyčíslí délka kalibračního intervalu

Hodnotu τ je možné upřesnit, je-li znám alespoň orientační vztah mezi zjevnými a skrytými poruchami.

Nechť, například: N je počet kalibrovaných měřicích přístrojů daného typu

n je počet poruch za čas t

d je podíl metrologických poruch na celkovém počtu

Potom

$$p_M(t) = 1 - \frac{d \cdot n}{N - (1-d) \cdot n}$$

Využijeme-li vztahu (2), pak můžeme psát

$$\tau = t \frac{\ln(1 - \varepsilon)}{\ln p_M(\tau)} \quad \text{nebo} \quad \tau = t \frac{\ln(1 - \varepsilon)}{\ln\left(1 - \frac{d \cdot n}{N - (1 - d) \cdot n}\right)} \quad (3)$$

Je třeba si uvědomit, že přesnost délky prvotního kalibračního intervalu počítaného podle vztahů (2) a (3) bude celkem malá. Je proto nutné provést korekci, která dovoluje upřesnit délku kalibračního intervalu. Pro korekci je zapotřebí znát výsledky minimálně 2 až 3 následných kalibrací.

Jako kritérium pro korigování můžeme použít podíl ε_k přístrojů, jejichž chyba přesáhla hranice normované tolerance v čase intervalu mezi kalibracemi, stanovený následně:

$$\varepsilon_k = \frac{m}{N} \quad \text{při } m \neq 0 \quad \text{nebo} \quad \varepsilon_k = \frac{1}{2N+2} \quad \text{při } m = 0 \quad (4)$$

kde N je počet kalibrovaných měřicích přístrojů
 m je počet měřicích přístrojů mimo meze tolerance

Pokud se splní podmínka

$$\varepsilon + kv > \varepsilon_k > \varepsilon - kv \quad \text{kde} \quad v = (\varepsilon(1 - \varepsilon)/N)^{1/2}$$

pak délka kalibračního intervalu vyčísleného podle vztahů (2) a (3) se nemění.

Koeficient k umožňuje měnit regulační oblast

$k = 3$ pro první regulaci

$k = 2$ pro následné regulace

Při $\varepsilon_k > \varepsilon + kv$ je třeba délku kalibračního intervalu zmenšit

Při $\varepsilon_k < \varepsilon - kv$ je možné délku kalibračního intervalu zvětšit

Při vyčíslení délky nového intervalu se postupuje následovně:

Uvažujme

$$\varepsilon_{kv} = \varepsilon_k + kv_k \quad (5)$$

kde $v_k = ((\varepsilon_k(1 - \varepsilon_k))/N)^{1/2}$

a najdeme mezní hodnotu intenzity toku metrologických poruch za dobu trvání kalibračního intervalu, rovnou τ :

$$\lambda_B = - \frac{\ln(1 - \varepsilon_{Bk})}{\tau} \quad (6)$$

Dosadíme-li ze vztahu (6) do vztahu (2), získáme dobu nového kalibračního intervalu

$$\tau_k = \frac{\ln(1 - \varepsilon)}{\ln(1 - \varepsilon_{Bk})} \cdot \tau$$

Příklad určení prvotního kalibračního intervalu a jeho korigování

I. Určení kalibračního intervalu podle zadání ukazatelů bezporuchovosti v technických podmínkách měřicího zařízení:

a) Je známa intenzita poruch

$$\lambda = 1,5 \cdot 10^{-5} / \text{hod}, \varepsilon = 0,1$$

Určíme

$$\tau = - \frac{\ln(1-0,1)}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 7020 \text{ hod, cca } 10 \text{ měs}$$

b) V technických podmínkách je zadána doba bezporuchového provozu

$$T = 25\,000 \text{ hod}$$

Následně

$$\tau = - \ln(1-0,1)T = 0,162 \cdot 25000 = 2630 \text{ hod, cca } 4 \text{ měs}$$

c) Je známa pravděpodobnost bezporuchového provozu ve stanoveném čase
 $p(3000) = 0,9$

Určíme

$$\tau = \frac{3000 \ln(1 - 0,1)}{\ln 0,9} = 3000 \text{ hod, cca } 4 \text{ měs}$$

Je třeba upozornit, že v takto získané délce kalibračního intervalu není vyloučen vliv zjevných poruch.

Dále je třeba kalibrační interval korigovat podle výsledků následujících kalibrací.

II. Korigování délky kalibračního intervalu

Nechť je určen interval

$$\tau_1 = 12 \text{ měs}$$

Po dvanácti měsících používání bylo prověřeno 75 měřících přístrojů uvažovaného typu. Z nich tři vykazovaly metrologickou poruchu.

Podle vztahu (4) stanovíme přesnější hodnotu pravděpodobnosti metrologické poruchy v intervalu τ_1 :

$$\varepsilon_{1k} = \frac{3}{75} = 0,04$$

odkud následně

$$v_k = (0,04(1-0,04)/75)^{1/2} = 0,0226$$

Podle vztahu (5) při $k = 2$ je

$$\varepsilon_{1Bk} = 0,04 + 2 \cdot 0,0226 = 0,0852$$

Podle vztahu (6) určíme mezní hodnotu pro λ_{1B} v intervalu $\tau_1 = 12$ měs:

$$\lambda_{1B} = - \frac{\ln(1-0,0852)}{12} = 0,00742/\text{měs}$$

Podle vztahu (2) určíme délku upřesněného kalibračního intervalu

$$\tau_2 = - \frac{\ln(1-0,1)}{0,00742} = \text{cca } 14 \text{ měs}$$

Tato metoda určení prvotního kalibračního intervalu s následující korekcí v závislosti na prováděných kalibracích je dostatečně jednoduchá. Jejím nedostatkem je nízká přesnost určení intervalu. Druhým jejím nedostatkem je ta okolnost, že pro podniky používající malé skupiny jednotypových měřících zařízení je korekce délky kalibračních intervalů popsáním způsobem příliš pracná.

5. METODY STANOVENÍ KALIBRAČNÍCH INTERVALŮ

Většina dále uváděných metod stanovení kalibračního intervalu měřícího zařízení je založena na různých technických, ale i jiných hodnotách. Konkrétní nastavení kalibračního intervalu vychází především z výsledků kalibrace, které jsou

zaznamenávají do kalibrační historie. Data zaznamenávaná v kalibrační historii jednotlivých měřicích zařízení musí být úplná, platná a normalizovaná. Jakost a účinnost kalibračních intervalů závisí též na jakosti a účinnosti kalibračních postupů. Tyto by měly být zpracovávány a udržovány podle nejlepší dostupné praxe.

Základem pro stanovení kalibračního intervalu měřicí techniky je soubor datových prvků tvořený daty identifikace zařízení, údržby a kalibrační historie.

Pro účely identifikace měřicího zařízení lze doporučit následující datové prvky:

- název, typ, výrobce a výrobní číslo zařízení
- uživatel,
- umístění zařízení.

Pro účely kalibračního intervalu a analýzy spolehlivosti lze doporučit následující technické datové prvky:

- datum plánované kalibrace,
- datum poslední kalibrace,
- identifikace kalibrační laboratoře a pracovníka provádějícího kalibraci,
- identifikace kalibračního postupu,
- stav měřicího zařízení při jeho přijetí ke kalibraci vyjádřený pomocí stavu v mezích tolerance nebo mimo meze tolerance. Zařízení neschopné provozu se zaznamenává, ale nezahrnuje se do systému analýzy intervalu.
- doba vynaložená na kalibraci nebo na opravu zařízení,
- záznam o naměřených hodnotách, bylo-li při přijetí ke kalibraci zjištěno, že je zařízení mimo meze tolerance,
- záznam o každém významném nastavení nebo opravě.

Délka kalibračních intervalů je ovlivněna především následujícími faktory:

- typ měřicího zařízení,
- doporučení výrobce,
- údaje získané z předchozích záznamů o kalibraci,
- informace získané z externích zdrojů,
- zaznamenaný průběh minulé údržby a servisu,
- rozsah a náročnost používání - důležitost měřicího zařízení v technologickém, kontrolním či jiném postupu,
- sklon k driftu a opotřebování,
- četnost používání měřicího zařízení,
- podmínky okolního prostředí, především teplota, vlhkost, vibrace, rázy, někdy atmosférický tlak,
- způsob umístění nebo uskladnění měřicího zařízení,
- stáří měřicího zařízení,
- četnost porovnávání s jiným měřicím zařízením, zejména s etalony,
- četnost a výsledky mezilhůtových kontrol měřicího zařízení,
- přesnost vybraných měření,
- znalosti a zkušenosti pracovníků používajících měřidlo,

- pokuta za nesprávně změřenou hodnotu, která byla považována za správnou, poněvadž měřicí zařízení bylo vadné.

Při určování kalibračních intervalů se nemohou pomíjet náklady na provedení kalibrace. Tyto mohou být častokrát limitujícím faktorem při určování rekalkibračních intervalů.

Zpracování jednotného přehledu kalibračních intervalů, který by mohl být všeobecně aplikovatelný je problematické. Proto jsou v této práci uváděny doporučení týkající se toho, jak stanovovat kalibrační intervaly a jak tyto potom dále upřesňovat.

V tomto doporučení jsou uvedeny metody pro volbu prvotních kalibračních intervalů a metody pro úpravu - regulaci - kalibračních intervalů. Některé z nich lze použít pro volbu prvotních kalibračních intervalů i pro jejich úpravu.

Metody stanovení a regulace kalibračních intervalů lze rozdělit na:

- a) technická analýza
- b) algoritmické metody
- c) statistické metody
- d) další metody

5.1 Technická analýza

V části 3. bylo uvedeno, že předmětem modelování je určení funkční závislosti mezi nárůstem nejistoty měření a časem, který uplyne od kalibrace. Je-li tato funkční závislost známa, lze určit kalibrační interval odpovídající požadované cílové spolehlivosti měření. Jinak řečeno: jestliže odezva nějaké vlastnosti na namáhání, velikost a frekvence namáhání jsou známé, pak lze provést rozhodující odhad délky času potřebného na to, aby se daná vlastnost dostala mimo meze tolerance. Takový odhad je výsledkem technické analýzy.

V technické analýze se pozornost zaměřuje na úroveň (hodnotu) vlastnosti.

Pokud se provádí technická analýza objektivním způsobem, přičemž se zaměří na stálost vlastnosti ve vztahu k provozním specifikacím, pak může být tato metoda platnou a účinnou metodou stanovení kalibračních intervalů.

Technickou analýzu lze výhodně použít při určování prvotních kalibračních intervalů.

Jako velmi výhodné se jeví použití kombinace technické a statistické analýzy.

Přehled a stručná charakteristika nejčastěji uvažovaných matematických modelů, lišících se mechanismem vzniku chyb :

- Exponenciální model
Konstantní intenzita poruch
- Weibullův model
Konstantní intenzita poruch během provozní doby s překrývající se dobou zahořování nebo opotřebení

- Smíšený exponenciální model

Selhání systému v důsledku závady jedné nebo více součástí, každá z nich je charakterizovaná konstantní intenzitou poruch

- Model náhodného kroku

Selhání v důsledku náhodného kolísání vlastností měření měřicího zařízení

- Omezený model náhodného kroku

Selhání v důsledku náhodného kolísání vlastností měření omezený na oblast kolem jmenovité nebo stanovené hodnoty dané vlastnosti

- Upravený model gama

Selhání v důsledku nahromaděného namáhání objevující se s konstantní průměrnou intenzitou poruch

- Model vývoje úmrtnosti

Monotónní narůst nebo pokles četnosti poruch

- Záruční model

Selhání objevující se během omezeného časového rozpětí

5.2 Algoritmické metody

Pod pojmem algoritmické metody máme na mysli metody, které pro úpravu kalibračních intervalů používají data z posledních kalibrací společně s větveným algoritmem. V následujícím bude uvedeno pět takových metod. Závěry v nich uváděné nejsou jen teoretické, ale jsou výsledkem dlouhodobých (více než desetiletých) simulací většího počtu položek publikovaných v zahraničních materiálech. V těchto simulacích jsou srovnávány sledované počty procent měřidel v mezích tolerance s cílovou spolehlivostí měření. Kalibrační intervaly jsou v nich upravovány na úroveň výrobních čísel, zatímco sledované počty procent měřidel v mezích tolerance jsou vypočteny pro úroveň skupiny daného typu.

5.2.1 Metoda Alg.1

Tato nejjednodušší metoda úpravy kalibračních intervalů bere do úvahy jen skutečnost, zda parametry kalibrovaného zařízení jsou po provedené kalibraci v mezích dovolené tolerance nebo mimo ně.

Zjistí-li se při kalibraci, že parametry měřicího zařízení jsou v mezích dovolené tolerance lze zvětšit následný kalibrační interval o hodnotu a .

Zjistí-li se při kalibraci, že parametry kalibrovaného měřicího zařízení jsou mimo meze dovolené tolerance je třeba zmenšit následný kalibrační interval o hodnotu **b**.

Hodnoty **a** a **b** se určí tak, aby se získala cílová spolehlivost měření.

Například pro cílovou spolehlivost 95% platí: $a = 0,1$ $b = 0,55$

Uvedme příklad pro $R = 95\%$ a $t_1 = 50$ týdnů:

Je-li položka po provedené kalibraci v mezích tolerance, bude $t_2 = 50 \times 1,1 = 55$ týdnů

Je-li položka mimo meze tolerance, bude $t_2 = 50 \times 0,45 =$ cca 23 týdnů

Tato metoda může vést k rychlé změně kalibračních intervalů, aniž by bylo nutno vynakládat zvláštního úsilí. Pokud se udržují a používají záznamy, pak jejich vyhodnocení umožňuje určit nedostatky těch skupin položek měřicího zařízení, u kterých se ukazuje potřeba technické úpravy nebo preventivní údržby.

Nevýhodou tohoto systému, který zahrnuje každou položku měřicího zařízení jednotlivě, může být ta skutečnost, že je obtížné provádět kalibraci pravidelně v časově rovnoměrně rozložených intervalech, dosáhnout vyrovnaného pracovního vytížení a provádět detailní plánování této činnosti.

5.2.2 Metoda Alg.2

Tato metoda bere do úvahy nejen to, zda parametry kalibrovaného měřicího zařízení jsou po provedené kalibraci v mezích dovolené tolerance nebo mimo ně, ale bere do úvahy stupeň mimo meze tolerance (méně nebo více než dvojnásobek dovolené tolerance) a též požadavky pro různé cílové spolehlivosti, viz níže uvedená tabulka.

CÍLOVÁ SPOLEHLIVOST (%)	NASTAVENÍ PROCENT NA KALIBRACI		
	KÓD 0	KÓD 1	KÓD 2
90	+1,81	-12,94	-20,63
85	+2,90	-12,94	-20,63
75	+5,54	-12,94	-20,63
70	+7,17	-12,94	-20,63
60	+11,38	-12,94	-20,63

Kód 0 - v mezích tolerance

Kód 1 - mimo meze tolerance o méně než dvojnásobek dovolené tolerance

Kód 2 - mimo meze tolerance o více než dvojnásobek dovolené tolerance

Jestliže odhady prvotních kalibračních intervalů nejsou příliš nepřesné, dává tato metoda dobré výsledky.

5.2.3 Metoda Alg.3

Předpokladem použití této metody je provedení minimálně tří kalibrací daného měřicího zařízení (současné, minulé a předminulé) a vyhodnocení jejich výsledků.

Z výsledků předcházejících kalibrací se zjistí akční kód pomocí první části následující tabulky. Každé situaci, která není zahrnutá v uvedené kombinaci, se přiřadí nulový akční kód, tzn., že se nemusí provádět žádná změna kalibračního intervalu.

Podle druhé části níže uvedené tabulky při použití akčních kódů p,m,d se určí nové kalibrační intervaly.

VÝSLEDEK KALIBRACE - STAV SPOLEHLIVOSTI			AKČNÍ KÓD
SOUČASNÝ	MINULÝ	PŘEDMINULÝ	
nový			z
v mezích	nový		-
v mezích	v mezích	nový	p
v mezích	mimo meze	nový	-
v mezích	v mezích	v mezích	p
v mezích	mimo meze	v mezích	-
v mezích	v mezích	mimo meze	-
v mezích	mimo meze	mimo meze	-
mimo meze	nový		-
mimo meze	v mezích	nový	-
mimo meze	mimo meze	nový	m
mimo meze	v mezích	v mezích	-
mimo meze	mimo meze	v mezích	m
mimo meze	v mezích	mimo meze	d
mimo meze	mimo meze	mimo meze	m

- : žádná změna intervalu
z : přiřadit prvotní interval

SOUČASNÝ INTERVAL (týdnů)	NOVÝ INTERVAL (týdnů)		
	p	m	d
5	10	5	5
10	15	5	5
15	20	10	10
20	30	10	15
25	35	15	20
30	45	15	25
35	50	20	30
40	60	20	35
45	60	25	40
50	75	25	45
60	75	30	50
75	100	40	50
100	150	50	50
150	200	50	50
200	200	50	50

5.2.4 Metoda Alg.4

V této metodě je velikost úpravy každého nového intervalu funkcí předcházejících úprav. Jsou-li během úprav změny stabilní, pak se úpravy postupně zmenšují, až se dosáhne konečného „správného“ intervalu (existuje-li jeden).

Algoritmus má následující průběh:

Nechť R značí cílovou spolehlivost, r dosaženou spolehlivost a nechť I_0 znamená prvotní kalibrační interval přiřazený dané položce měřicího zařízení při prvním provedení. Po m intervalech vypočteme součinitele c , a_m , y_m následovně:

$$c = \frac{I_0}{-R \ln(r)} \quad a_m = \frac{c}{m+5}$$

$y_m = 1$, je-li měřidlo přijato ke kalibraci v mezích dovolené tolerance

$y_m = 0$, je-li měřidlo přijato ke kalibraci mimo meze dovolené tolerance

Nový kalibrační interval bude

$$I_{m+1} = I_m + a_{m+1} (y_m - R)$$

U této metody se cílová spolehlivost může nastavit na libovolnou požadovanou úroveň.

Prováděné simulace vykazují velmi dobrou shodu mezi simulovanými počty procent v mezích tolerance a cílovými spolehlivostmi.

Všechny uvedené algoritmické metody předpokládají, že použití sledovaného měřicího zařízení, manipulace s ním a kalibrace budou dlouhodobě neměnné. Pokud tomu tak není, může být úprava kalibračních intervalů nepřesná.

5.2.5 Metoda Alg.5

Po provedení kalibrace se zvolí významné kalibrační body a jejich jednotlivé hodnoty se vynesou do grafu v závislosti na čase. Z těchto grafů lze vypočítat jak drift, tak rozptyl hodnot. Za drift je brána buď jeho střední hodnota během jednoho rekalkibračního intervalu, nebo v případě velmi stabilních měřicích zařízení drift v průběhu několika intervalů. Z těchto údajů se může vypočítat efektivní drift a optimální interval rekalkibrace. Tato metoda se obtížně aplikuje v případě složitějšího zařízení, a může být vlastně použita pouze spolu s automatickým zpracováním dat. Před zahájením výpočtů je vyžadována hluboká znalost zákonitostí nestability kalibrovaného měřicího zařízení nebo jemu podobného zařízení. Opět je obtížné dosáhnout rovnovážného pracovního zatížení. Je však povolena značná odchylnost rekalkibračního intervalu od stanoveného, aniž by došlo ke snížení významu výpočtů. Dále je možno vypočítat spolehlivost, což podle teorie vede k možnosti stanovení účinného rekalkibračního intervalu. Výpočty nám budou též signalizovat, zda jsou výrobcem udávané limity odůvodněné a analýza zjištěného driftu může napomoci při určování příčin driftu.

5.3 Statistické metody

Jestliže má být kalibrován větší počet stejných měřicích zařízení nebo jejich skupin, může být výhodné stanovit kalibrační interval pomocí některé ze statistických metod. Většina statistických metod používá k matematickému popisu závislosti spolehlivosti měření na čase (při modelování spolehlivosti měření na základě údajů z jejich historie kalibrace) teoretické modely chyb.

Data získaná z kalibrační historie měřidla se používají pro výpočet číselných hodnot určitých parametrů, které tento model charakterizují. Tento model se pak použije pro výpočet kalibračních intervalů, odpovídajících spolehlivostem měření, rovnajících se požadované cílové spolehlivosti stanovené pro soubor typových čísel nebo tříd sledovaného přístroje. Liší-li se vypočtený interval od aktuálně přiřazeného intervalu, bude nutno jej změnit. Před rozhodnutím o zkrácení nebo prodloužení kalibračního intervalu a rozsahu této změny je třeba uvážit, o kolik se zlepšší spolehlivost měření pomocí sníženého intervalu nebo kolik nákladů se ušetří při jeho rozšíření.

V následující části jsou uvedeny tři statistické metody určování kalibračních intervalů měřicích zařízení. Používají se v případech, kdy jsou získávána data o vlastnostech měřicích zařízení v různých časových intervalech, které uplynou mezi kalibracemi. Tím se

získává rozptyl dat v rozsahu intervalů a z nich lze vyvodit závěry týkající se časové závislosti příslušné spolehlivosti měření.

5.3.1 Metoda Stat.1

V klasických studiích spolehlivosti se časové závislosti chování spolehlivosti parametrů sledovaného zařízení získávají tak, že se vzorek zařízení po nějakou dobu aktivuje a zaznamenávají se doby závad jednotlivých položek na vzorku. To však předpokládá, že vzorek je trvale pozorován a že jsou zaznamenávány doby zjištění jednotlivých závad. Podstatou takovéto metody je otázka „kdy k závadě došlo?“.

Uvedený princip zjišťování spolehlivosti není však u měřicích zařízení dost dobře možný, neboť by vyžadoval dlouhodobé použití přesné měřicí techniky.

Co však může být známo je konstatování, že v době mezi dvěma kalibracemi (dva body během časového intervalu mezi dvěma kalibracemi) měřicí zařízení se změnilo ze stavu „v mezích“ do stavu „mimo meze“, pokud tomu tak bylo. Není však možné odpovědět na otázku „kdy k závadě došlo“.

Aby bylo možné tento problém překonat, pokusili se někteří analytici odhadnout dobu pro stav mimo meze tolerance, která vychází z doby mezi následnými kalibracemi, pomocí určitých předběžných předpokladů o statistickém rozdělení doby mimo meze tolerance. Tato metoda zahrnuje vytvoření pravděpodobnostní funkce z hustoty pravděpodobnosti statistického rozdělení výběru.

Pravděpodobnostní funkce je maximalizovaná vzhledem k různým parametrům měřítka, tvaru, umístění atd., které charakterizují matematický model daného rozdělení. Odtud se získají odhady maximální pravděpodobnosti pro tyto parametry, které se v daném modelu použijí pro odhad spolehlivosti měření jako funkce času. Kalibrační interval se získá tak, že se odhadovaná spolehlivost měření stanoví na hodnotu rovnou cílové spolehlivosti měření a vyřeší se pro čas.

Tato metoda poskytuje údaje o kalibračních intervalech rychleji než libovolná z algoritmických metod, neboť ji lze použít pro úroveň skupiny typu nebo třídy měřicího zařízení. To umožňuje rychlejší shromažďování příslušných dat, než je možné dosáhnout na úrovni výrobního čísla.

Metoda Stat.1 poskytuje intervaly odpovídající cílovým hodnotám přibližně po té, co bylo zaznamenáno 30 kalibrací na úrovni skupiny typu nebo 40 až 50 kalibrací na úrovni třídy přístroje.

5.3.2 Metoda Stat.2

Tato metoda je podobná předcházející, neprovádí se však při ní žádný pokus o odhadnutí doby mimo meze tolerance. Místo toho se vezmou vzorky spolehlivosti měření pro soubor typu nebo pro třídu přístroje. Položky měřicího zařízení se přitom uspořádají do skupin na základě jejich podobnosti konstrukce a jejich očekávané spolehlivosti a stálosti.

Vzorky spolehlivosti měření se získají tím, že se vydělí počet kalibrací v mezích tolerance počtem kalibrací mimo meze tolerance v každém intervalu zaznamenaném v datech

kalibrační historie. Při určování položek mimo meze tolerance se neuvažuje s těmi, které jsou zjevně poškozeny uživatelem nebo byly uživatelem vráceny jako špatné. Každý vzorek se doplní časovým intervalem, který tomu odpovídá a uspořádá se do rostoucí časové posloupnosti. Takové uspořádání tvoří časovou řadu.

Pomocí jednoduchých metod statistické analýzy se odvodí příslušný model spolehlivosti měření určující danou časovou řadu. Základní otázka této metody není „kdy došlo k závadě“, ale spíše „která část položek je na konci sledovaných intervalů ještě v mezích dovolené tolerance?“. Na tuto otázku lze snadno přímo odpovědět z dat kalibrační historie, aniž by bylo nutno se uchýlit k předběžným předpokladům nebo náhodným odhadům.

Metoda Stat.2 představuje obdobně jako metoda Stat.1 odhad funkce pravděpodobnosti, ale na rozdíl od ní využívá spíše hustoty pravděpodobnosti binomického rozdělení než funkce hustoty pravděpodobnosti časového rozdělení mimo meze tolerance.

Je-li počet položek mimo meze tolerance velký, kalibrační interval se musí zkrátit, v opačném případě prodloužit.

I tato metoda poskytuje intervaly přiměřené cílovým hodnotám mnohem rychleji než algoritmické metody. Jeví se jako lepší metoda než metoda Stat.1, její programování je však složitější.

5.3.3 Metoda Stat.3

Tato metoda používá časovou řadu jako metoda Stat.2. Od ní se však liší tím, že časová řada se u ní vytvoří spíše na úrovni výrobního čísla než na úrovni skupiny typu nebo třídy přístroje. To vyžaduje použití Bernoulliho funkce hustoty pravděpodobnosti jako pravděpodobnostní funkce namísto binomické funkce hustoty metody Stat.2.

Metoda Stat.3 poskytuje výsledky podobné výsledkům metody Alg.4 a podobně jako tato metoda vyžaduje deset až patnáct let získání intervalů přiměřených cílovým hodnotám spolehlivosti měření.

Dovětek k použití statistických metod.

Všechny tři uvedené statistické metody jsou použitelné při určování kalibračních intervalů. S ohledem na jejich náročnost a vyžadované znalosti z oblasti spolehlivosti se však nedá předpokládat, že by byly používány v podnikové metrologii. Poněvadž je tato práce určena podnikovým metrologům, není v žádné ze statistických metod prováděn její matematický popis, ale řešitel úkolu se omezuje na seznámení s její podstatou.

Pokud se bude chtít některý z podnikových metrologů touto problematikou hlouběji zabývat a má-li sklon např. při použití metody Stat.2 se pouštět do matematicky složitých programovacích záležitostí, může vše potřebné najít v odborné literatuře zabývající se spolehlivostí.

Ke stanovení délky kalibračního intervalu měřicího zařízení lze použít též metodu využívající teorie spolehlivosti uvedenou v kapitole 4. Kalibrační intervaly.

5.4 Další metody

Metoda C1

Tato metoda je variantou předcházejících metod. Liší se od nich tím, že kalibrační intervaly se vyjadřují v hodinách používání místo týdnů či měsíců uplynulé doby. Položka měřicího zařízení bývá vybavena indikátorem uplynulé doby a vrací se ke kalibraci, když tento indikátor dosáhne určité hodnoty. Jako příklad lze uvést termočlánky používané pro extrémní teploty, testery proměření tlaku plynu, délkové míry (tzn. měřidla, která mohou být vystavena mechanickému opotřebování). Důležitou teoretickou výhodou této metody je skutečnost, že se vykoná určitý počet kalibrací a náklady na kalibraci se mění podle doby, po kterou je měřicí zařízení používáno.

Metoda má však několik nevýhod, a to:

- nemůže se používat pro pasivní měřidla (například zeslabovače) nebo pasivní etalony (rezistory, kondenzátory, atd.),
- nemá se používat, je-li známo, že měřidlo driftuje nebo se opotřebovává, když je skladováno, když se s ním manipuluje nebo když je podrobena několika krátkým cyklům zapnuto/vypnuto. V každém případě se má uvádět náhradní kalendářní doba.
- počáteční náklady na pořízení a instalaci vhodných časoměřičů jsou vysoké a časoměřiče mohou uživatelům překážet, může se požadovat jejich kalibrace, která opět zvýší náklady
- kalibrační laboratoř nezná datum, kdy kalibrační interval končí, proto je obtížné dosáhnout stejně hladkého průběhu práce jako u jiných uvedených metod

Metoda C2

Tato metoda, která bývá nazývána "zkoušení během služby", někdy též „mezilhůtová kontrola" není kalibrační metodou, tyto však doplňuje. Poskytuje předběžné informace o vlastnostech měřicího zařízení mezi kalibracemi a může poskytovat obraz o vhodnosti kalibračního programu. Zavádí se proto, aby se v maximální míře omezilo používání měřidla, které mezi dvěma kalibracemi přestává vyhovovat specifikacím - některé jeho parametry jsou mimo meze dovolených tolerancí. Předchází se tím možnému vzniku nekvalitní výroby nebo služeb.

Na pracovišti, kde je kontrolované měřidlo používáno, se průběžně pravidelně kontrolují jeho kritické parametry pomocí kontrolního etalonu nebo jiného vhodného zařízení podle odpovídajícího kontrolního postupu. Kontrolním etalonem může být příslušně přesné, kalibrované pracovní měřidlo, používané např. uživatelem pro běžné měření. Zjistí-li se, že kontrolované měřidlo vykazuje některý z parametrů mimo meze dovolené tolerance, předává se k pravidelné nebo mimořádné kalibraci. Tuto však v žádném případě nenahrazuje.

Velkou výhodou této metody je, že je v maximální míře dostupná uživateli zařízení. Je vhodná pro měřicí zařízení používané v místech vzdálených od kalibrační laboratoře.

Obvyklé potíže při používání této metody souvisí s volbou a zajišťováním kontrolního etalonu, případně s určením kritických parametrů.

Ačkoliv je tato metoda z teoretického hlediska velmi spolehlivá, je poněkud problematická, poněvadž kontrolované měřicí zařízení může selhat v některých parametrech, které nejsou kontrolním etalonem prověřovány. Další nevýhoda může spočívat v nestabilitě kontrolního etalonu.

Některé doplňky k uvedeným metodám stanovení kalibračních intervalů měřicího zařízení jsou uvedeny v kapitole VIII Možnosti úpravy kalibračních intervalů.

6. UŽITÍ METOD STANOVENÍ KALIBRAČNÍCH INTERVALŮ

Ve velkém počtu organizací se setkáváme s tím, že kalibrační intervaly měřicí techniky jsou stanovovány a přezkoumávány nesystematicky, v lepším případě na základě technické intuice. Takový postup je samozřejmě nesprávný, nedostatečně spolehlivý. Příčin tohoto stavu je několik. Jedna z nich spočívá v neznalosti metod určování kalibračních intervalů. Metrologové organizací by se měli s nimi seznámit a zavést je do používání.

Přezkoumávání kalibračních intervalů má být prováděno i v případech, kdy byly stanoveny podle běžné praxe. To proto, aby se co nejlépe mohla porovnávat rizika plynoucí z měřidel mimo meze tolerancí a náklady na jejich kalibraci.

Dá se očekávat, že prvotní intervaly nejsou nejvhodnější. Při jejich přezkoumávání se může zjistit, že měřicí zařízení je méně spolehlivé, než se předpokládalo nebo jeho používání může být jiné, než se očekávalo. V tom případě bude třeba stanovené kalibrační intervaly patřičně zkrátit.

Na druhé straně se může zjistit, že kalibrace je prováděna zbytečně často a je možné kalibrační intervaly přiměřeně prodloužit, případně provádět omezenou kalibraci. Prodloužení intervalů musí být však dostatečně zdůvodněné. Není jej možné provádět jen proto, že organizace nemá dostatek finančních prostředků.

Je třeba upozornit, že neexistuje jediná metoda přezkoumávání kalibračních intervalů ideálně vhodná pro celý rozsah druhů měřicího zařízení, se kterými je možné se setkat.

Jak bylo uvedeno, existuje několik druhů metod stanovování kalibračních intervalů. Statistické postupy stanovení kalibračních intervalů vyžadují, aby bylo k dispozici velké množství reprezentativních dat. Nejsou-li tyto známy nelze získat přesné výsledky. V tom případě je vhodné, aby pracovníci odpovědní za stanovování kalibračních intervalů - obvykle metrologové - převzali potřebné údaje z mimopodnikových zdrojů. K získávání a uchování dat vhodně poslouží podnikový metrologický informační systém. Je však třeba si uvědomit, že získané informace nemusí vycházet ze stejných podmínek měření. Proto by měla organizace při získávání informací z vnějších zdrojů postupovat pokud možno tak, aby se co nejvíce přiblížila danému měřicímu zařízení z hlediska jeho použití, doporučení výrobce, působení prostředí, uložení, údržby, kalibračního postupu a úrovně technických zkušeností. Dále je třeba si uvědomit následující: Jestliže se spolehlivost měření externího zdroje liší od spolehlivosti daného měřicího zařízení, je nutno korigovat externí informace tak, aby byly v souladu s cílovou spolehlivostí měření daného měřicího zařízení.

Metody, které svým charakterem nejsou statistické se používají tehdy, není-li k dispozici dostatečné množství reprezentativních dat. Vycházejí tedy z malého počtu předběžných kalibrací. V mnoha případech se při takové regulaci kalibračních intervalů využívá podmíněné odezvy na různé kombinace dříve zaznamenaných stavů měřicího zařízení „v mezích tolerance“ nebo „mimo meze tolerance“. Lze konstatovat, že takové jednoduché metody jsou velmi často používané. Příčin je několik. První spočívá v tom, že ve většině případů není možno nashromáždit dostatek reprezentativních dat. Druhým důvodem je nedostatek personálu ovládajícího statistiku. A konečně třetí, vážný důvod: systémy založené na statistice jsou z hlediska jejich tvorby a zavedení poměrně nákladné.

7. MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ NEPODLÉHAJÍCÍ PRAVIDELNÉ KALIBRACI

Ne všechna měřicí zařízení je třeba pravidelně kalibrovat. Kromě jiného to lze vyvodit z §3 Vyhlášky FÚNM č. 69/1991 Sb., kde je uvedeno: "Kalibraci podléhají pracovní měřidla, jejichž používání má vliv na množství a jakost výroby, na ochranu zdraví a bezpečnosti i životního prostředí, popřípadě pokud jsou používána za okolností, kdy nesprávným měřením mohou být významně poškozeny zájmy organizace nebo občana.". Pravidelná kalibrace pracovních měřidel nemusí být prováděna v následujících případech:

- přístroj neprovádí měření nebo poskytuje známé výstupy,
- přístroj se používá jako převodní zařízení, jehož hodnota měření nebo výstupu se výslovně nepoužívá,
- přístroj je součástí kalibrovaného systému nebo funkce,
- přístroj je chráněn před selháním tím, že závada v činnosti v rámci stanovených provozních mezí bude pro uživatele zcela zřejmá,
- přístroj provádí měření nebo poskytuje známé výstupy, které jsou během použití sledovány kalibrovaným zařízením, měřidlem nebo měrkou,
- přístroj provádí měření, která jsou nutná spíše pro zajištění indikace provozního stavu než pro získání číselné hodnoty,
- přístroj se zlikviduje po krátké životnosti, během níž se jeho spolehlivost měření udržuje na přijatelné úrovni.

Uvedená měřidla nemusí být pravidelně kalibrována, před jejich uvedením do provozu však obvykle bývají kalibrována - prvotní kalibrace je na nich prováděna.

8. STANOVOVÁNÍ PRVOTNÍCH KALIBRAČNÍCH INTERVALŮ

Před uvedením do používání se každé měřicí zařízení kalibruje. Po této prvotní kalibraci je měřidlu přidělen prvotní kalibrační interval. Až na výjimky nebudou k dispozici data jeho kalibrační historie. Stanovené kalibrační intervaly budou obvykle přibližné. Pro jejich zpřesnění by se měly použít všechny dostupné kalibrační údaje, měly by se efektivně vytvořit nová přesnější data a kalibrační intervaly aktualizovat.

Při stanovování prvotních kalibračních intervalů lze použít některou z následujících metod:

c) Třída zařízení

Pod pojmem třídy zařízení rozumíme seskupení typových položek výrobce charakterizované společnou funkcí, podobným použitím, stejnou přesností, vlastní stabilitou, složitostí, konstrukcí a technologií.

Jsou-li k dispozici informace o délce kalibračních intervalů určité třídy zařízení a dané měřicí zařízení lze do existující třídy zařadit, lze podle nich prvotní kalibrační interval stanovit.

Kalibrační intervaly podle třídy zařízení lze získat tím, že se použije metodologie regulace kalibračních intervalů Stat.1 nebo Stat.2.

d) Technická analýza

Nejsou-li k dispozici kalibrační intervaly podle třídy zařízení, pak další upřednostňovanou metodou získání prvotních kalibračních intervalů je technická analýza. Tato metoda může být základem pro počáteční rozhodnutí při stanovování kalibračních intervalů. Předpokladem je, aby ji prováděl pracovník s velmi dobrou znalostí příslušné měřicí disciplíny, se všeobecnými znalostmi a zkušenostmi z oblasti měření a zejména měřicího zařízení a pokud možno se znalostmi o kalibračních intervalech používaných jinými metrologickými pracovišti. Uvedený pracovník provádí pro každou položku nebo skupinu položek měřicího zařízení odhad délky období, v níž se předpokládá, že parametry měřicího zařízení zůstanou v příslušné toleranci.

Pro stanovení prvotních kalibračních intervalů lze brát do úvahy:

podobné typy,

- doporučení výrobce měřicího zařízení,
- analýzu konstrukce.
- rozsah a intenzitu používání měřicího zařízení
- vliv okolního prostředí
- přesnost vybraných měření

e) Podobné typy

Nové měřicí zařízení je často modernizovanou verzí stávající řady výrobků. Může být stejné jako jeho předchůdce až na malé nebo nepodstatné úpravy. V těchto případech se může od nového typu měřicího zařízení očekávat, že jeho provozní vlastnosti budou stejné jako byly u jeho výchozího typu. Je-li známa kalibrační historie a kalibrační interval původního typu, lze jej přiřadit i typu novému.

Není-li možné použít přímý vztah k předchůdcům, lze často vzít do úvahy kalibrační interval podobného měřicího zařízení nebo zařízení podobné složitosti používající podobné technologie.

f) Údaje a doporučení výrobce měřicího zařízení

Výrobce v technické dokumentaci dodávané spolu s měřicím přístrojem často uvádí doporučený kalibrační interval. Toto doporučení vychází obvykle z analýzy stability parametrů měřidla. Aby byla tato analýza platná, má zahrnovat tři předpoklady:

- dovozené meze tolerance parametrů,

- časové období, během něhož budou hodnoty těchto parametrů v dovolených mezích,
- počet procent měřidel, jejichž parametry budou během tohoto časového období v dovolených mezích.

Při využívání kalibračního intervalu doporučeného výrobcem měřicího zařízení je na místě určitá opatrnost, neboť většina výrobců udává údaje jen o jednom nebo maximálně dvou uvedených bodech.

g) Analýza konstrukce měřicího zařízení

Odborně způsobilí pracovníci jsou schopni z označení, popisu, znalosti konstrukce, vyhodnocení kritických kalibračních míst, obvodů a součástí příslušného měřicího zařízení stanovit jeho prvotní kalibrační interval. Současně lze uvedených znalostí využít při jejich přezkoumávání.

h) Využití informací od externích organizací

Nejsou-li k dispozici intervaly podle třídy zařízení a technická analýza není proveditelná, lze ke stanovení prvotních kalibračních intervalů využít informací získaných od externích organizací. Je-li to možné, pak se doporučuje, aby tato vnější organizace byla podobná z hlediska požadované činnosti, cílových spolehlivostí, kalibračních postupů, použití, manipulací, prostředí a pod. V případě, že existují rozdíly v těchto oblastech, nezbyvá nic jiného než použít „zapůjčené“ intervaly.

Tato metoda má však několik vážných nedostatků, které jsou popisovány v další části této práce.

i) Obecné intervaly

Jako poslední možnost se doporučuje přiřadit všem novým položkám měřicího zařízení jednotný kalibrační interval. U něj by uvedené položky měřicího zařízení zůstaly, dokud jejich kalibrační data neukazují, že je třeba je změnit.

Jednotný kalibrační interval musí být dostatečně krátký, aby zahrnoval též měřicí zařízení se špatnými charakteristikami spolehlivosti měření a aby se rychle vytvořila data, která by umožnila analýzu intervalu a regulaci pomocí jiných metod.

Použití obecných intervalů se na první pohled jeví jako nejvhodnější způsob pro zavedení měřicího zařízení do kalibračního procesu. Systém je velmi jednoduchý. Avšak zavedení nezdůvodněně krátkých kalibračních intervalů má za následek přehnané náklady na kalibraci a zbytečné přerušování v používání měřidel.

Poznámka:

Výše uvedené metody stanovení prvotních intervalů měřicího zařízení jsou doporučovány v pořadí klesajících preferencí. Jejich klasifikace vychází z předpokladů objektivity, přizpůsobivosti, přesnosti a dlouhodobé efektivity nákladů. Uživatelům lze doporučit, aby si v souladu s rozpočtem, odbornou znalostí pracovníků a schopnostmi zpracování dat zvolili metodu nejvyššího doporučení.

Bližší popis každé metodologie je uveden v části 5.

9. MOŽNOSTI ÚPRAV KALIBRAČNÍCH INTERVALŮ

Tato kapitola navazuje na kapitolu 5. Metody stanovování kalibračních intervalů, kterou do jisté míry doplňuje.

Systém, který udržuje kalibrační intervaly bez přezkoumávání se nepovažuje za dostatečně spolehlivý. Na základě běžně prováděné kalibrace lze dále upravovat kalibrační intervaly z hlediska optimalizace kritérií rizika a nákladů tak, aby se co nejlépe využila rovnováha mezi riziky nekvalitní práce a náklady vynaloženými na kalibraci. Obvykle se při tom zjistí, že původně stanovené kalibrační intervaly nejsou optimální z následujících důvodů:

- položky měřicího zařízení mohou být méně spolehlivé, než se očekávalo,
- používání měřicího zařízení nemusí být takové, jak se předpokládalo,
- může být dostatečně provádět kalibrace v omezeném rozsahu,
- drift stanovený pravidelnou kalibrací měřicího zařízení může prokázat, že jsou možné delší kalibrační intervaly aniž by se zvýšilo nebezpečí, že v době jejich trvání překročí parametry zařízení příslušnou toleranci.

Bude-li třeba s ohledem na nedostatek finančních prostředků případně nedostatek pracovníků prodlužovat délku kalibračních intervalů, je třeba mět na paměti, že ztráty vznikající v důsledku nekvalitní výroby způsobené používáním nepřesných měřicích zařízení mohou dosahovat i extrémně vysokých částek. Provede-li se odhad těchto nákladů, může se také zjistit, že bude ekonomičtější vydat více finančních prostředků na kalibraci a zkrátit kalibrační intervaly.

Kalibrační intervaly lze prodlužovat nebo zkracovat. Každá jejich změna předpokládá, že jsou k dispozici pomocná data - podklady a že změna je prováděna tak, aby se při udržení nákladů na kalibraci na přijatelné úrovni zajistila požadovaná přesnost měření.

Existují různé metody pro přezkoumávání délky kalibračních intervalů lišící se podle toho, zda:

- položky měřicího zařízení jsou kalibrovány jednotlivě nebo ve skupinách (například podle výrobce nebo typu),
- položky měřicího zařízení přestaly vyhovovat příslušným specifikacím vlivem driftu po uplynutí určité doby nebo používání,
- příkládá se důležitost minulým kalibracím a zda údaje o jejich výsledcích jsou k dispozici.

Žádná jediná metoda není ideálně vhodná pro všechna měřicí zařízení, se kterými se setkáváme třeba i jen v jediné organizaci. Dále je nutno poznamenat, že vybraná metoda bude ovlivněna pracovištěm, které ji zamýšlí používat. Existují ještě i jiné faktory, které mohou výběr metody ovlivnit.

V následující části bude uvedena problematika související s úpravami kalibračních intervalů měřicích zařízení podle následujících hledisek:

- výrobního čísla měřicího zařízení,
- typu měřicího zařízení,

- třídy měřicího zařízení.

9.1 Změna kalibračního intervalu prováděná podle výrobního čísla měřicího zařízení

Jednotlivé položky měřicího zařízení daného typu jednoho výrobce jsou si sice podobné, nejsou však stejné. Proto mohou některé pracovat lépe a jiné hůře, než je průměr.

Můžeme se setkat s nastavováním kalibračních intervalů měřicího zařízení na úroveň příslušných výrobních čísel, přičemž různé metody staví tato nastavení na kalibrační historii každé jednotlivé položky. Vzhledem k tomu, že „správný“ kalibrační interval pro příslušné měřicí zařízení podléhá během své životnosti změnám, jsou pro jeho stanovení vhodná pouze data získaná z posledních kalibrací.

Stanovení „správného“ intervalu pro položku měřicího zařízení vyžaduje však nashromáždění značného počtu dat. Ale nashromáždění dostatečně velkého počtu dat od jedné položky pro přesnou analýzu by trvalo několik let, případně desítky let. Ukazuje se tedy, že výkonnost systému kalibračních intervalů není možné na úrovni výrobních čísel dosti dobře vyhodnotit. Proto lze přístup stanovení kalibračního intervalu položky měřicího zařízení podle jejího výrobního čísla doporučit jen ve výjimečných případech. To však nebrání, aby byla zjištěná data využívána při vyhodnocení kalibračních intervalů na úrovni typu nebo třídy zařízení.

9.2 Změna kalibračního intervalu prováděná podle typu měřicího zařízení

9.2.1 Analýza typu

Každá položka měřicího zařízení daného typu označená výrobním číslem je typicky sestavená jako jednotný soubor konstrukce a specifikací součástí. Předpokládá se, že většina takových položek měřicího zařízení splňuje určitý soubor vydaných provozních specifikací. Dá se proto očekávat, že většina položek daného typu označených výrobním číslem bude během času vykazovat stejnou spolehlivost měření.

Identifikace měřicího zařízení podle jeho typu umožňuje systematické a rychlé shromažďování jeho kalibrační historie. V některých případech lze pro účely platného statistického rozboru a následného přehodnocení kalibračního intervalu nasbírat dostatek dat pro daný typ za dobu kratší než jeden rok.

Pro zajištění přesnosti a jednotnosti změn kalibračních intervalů vycházejících z těchto vyhodnocení platí následující podmínky:

- a) Data kalibrační historie jsou úplná a vyčerpávající. Vyžaduje se, aby se u všech zaznamenaných kalibrací uchovávala data podle výrobního čísla.
- b) Data kalibrační historie se posoudí a analyzují a kalibrační intervaly (prvotní nebo již měněné) se upraví podle pokynů uvedených níže v bodě e).
- c) Pro modelování chování spolehlivosti měření se použijí matematické modely chyb a tento použitý model nebo modely jsou vhodné. Tzn. Modeluj proces, podle něhož se měřicí zařízení přesune ze stavu v mezích tolerance do stavu mimo meze tolerance. Mezi matematické modely vhodné pro tento účel patří model exponenciální, Weibullův, gama, lognormal, náhodného kroku a posunu.

- d) Metody analýzy, které tyto modely uzpůsobují na data kalibrační historie, vycházejí ze statisticky platných metod. Mezi tyto metody patří metoda momentů, odhad maximální pravděpodobnosti, analýza metodou nejmenších čtverců nebo Bayesův odhad.
- e) Nastavení intervalů se provádí takovým způsobem, aby požadavky spolehlivosti nebyly ohroženy. Podporuje se rozšíření intervalů, které snižují náklady na kalibraci, přičemž však dodrží cílové hodnoty spolehlivosti. Zkrácení intervalů získaných z analýzy je povinné, pokud není možno zajistit požadavky spolehlivosti nějakou jinou kompenzací.

Je-li vhodné posoudit a analyzovat data kalibrační historie, pak je vhodné určité rozšíření. Posouzení je vhodné, platí-li jedna z následujících možností:

- byl nashromážděn dostatek dat, které odůvodňují novou analýzu,
- od předchozího přiřazení nebo úpravy kalibračního intervalu byla zavedena určitá procedurální nebo koncepční úprava (změny v postupu kalibrace, cílové spolehlivosti, aplikace nebo použití zařízení a pod.),
- ví se, že zařízení má zřetelný provozní trend a uplynul dostatečný čas, aby bylo potřeba změnit pro tento trend interval

9.2.2 Identifikace braku a drahokamu

Požadavkům na statisticky platné kalibrační intervaly a nezbytnou citlivost na extrémní chování jednotlivých přístrojů lze vyhovět tím, že se do typu zahrne nějaký statistický způsob identifikace výjimečného přístroje. V takových schématech se kalibrační data pro daný typ uchovávají podle výrobního čísla. Položky s podstatně vyššími a nižšími frekvencemi mimo meze tolerance, než je pro danou skupinu charakteristické, mohou být označeny podle výrobního čísla. Statistické prvky mimo meze tolerance označené tímto způsobem se obvykle nazývají „brak“ (vysoká míra mimo meze tolerance) a „drahokamy“ (nízká míra mimo meze tolerance). Přítomnost braků značně zkracuje kalibrační interval pro ostatní položky daného typu. Odstraněním těchto prvků ležících mimo meze ze souboru typu poskytne větší jistotu, že přiřazený interval je pro daný typ reprezentativní. Kromě toho označení prvků ležících mimo interval zajistí citlivost na určité chování.

9.2.3 Řízení braku a drahokamu

Pro identifikaci těchto prvků ležících mimo meze lze navrhnout různé metody. Nejlepšími jsou metody statistické. Jakmile se prvky ležící mimo meze identifikují, existují vzhledem k jejich tendenci značné možnosti. Například, braky mohou vyžadovat zkrácené intervaly, generální opravu, vyjmutí z provozu, omezené použití a pod. Na druhé straně lze drahokamy kvalifikovat delšími intervaly, označením jako značně doporučené položky nebo je povýšit na etalony vyšší úrovně.

9.3 Změna kalibračního intervalu prováděná podle třídy měřicího zařízení

Existuje dostatek případů, kdy není k dispozici dostatek potřebných dat podle výrobního čísla měřicího zařízení ani podle jeho typu. Jedna z metod kompenzace tohoto nedostatku spočívá ve vytvoření seskupení přibližně sobě podobných měřicích přístrojů, obsahujících nejen větší množství položek, ale i různých typů. Taková seskupení nazýváme třída zařízení. Sloučení kalibračních historií od typů v rámci třídy poskytne pro analýzu dostatek dat. Výsledky takové analýzy se mohou použít pro jednotlivé položky typu v rámci třídy, pro níž je málo dat nebo tato data nejsou k dispozici.

Pro definování třídy se používá několik kritérií. Patří mezi ně společná funkce, aplikace, přesnost, vlastní stabilita, složitost, konstrukce a technologie.

Analýza kalibračních intervalů se provádí stejným způsobem jako analýza na úrovni typů, kde se data pro analýzu intervalu seskupují spíše podle třídy než podle typu a pro analýzu braku a drahokamu spíše podle typu než podle výrobního čísla.

10. ÚKOLY ŘÍZENÍ KALIBRAČNÍHO INTERVALU

10.1 Cílové hodnoty spolehlivosti

Základním předmětem kontroly jakosti souvisejícím s ověřením výrobku nebo prováděním výstupních kontrol je to, aby provozní systémy poskytovaly správné rozhodnutí o přijetí nebo zamítnutí. Chyby takovýchto rozhodnutí přímo souvisejí s nejistotami při postupu ověření nebo výstupní kontroly. Jedním příspěvkem k této nejistotě je nejistota měřicího zařízení. U většiny měřicích zařízení je tato nejistota funkcí počtu procent položek, které jsou v mezích tolerance, tj. spolehlivosti měření. Proto je nutné, aby byla spolehlivost měřicích zařízení udržována na přijatelných úrovních. To, co tvoří přijatelnou úroveň, je funkce úrovně rizika zkušebního rozhodnutí přijatelného provedení. Tato rizika se většinou vyjadřují ve formě pravděpodobnosti zamítnutí vyhovujících jednotek (v mezích tolerance) nebo přijetí nevyhovujících jednotek (mimo meze tolerance). První riziko se označuje jako riziko výrobce a druhé se nazývá riziko zákazníka.

To, co pak představuje přijatelná rizika, jsou úrovně rizika výrobce a rizika zákazníka, které jsou slučitelné s požadavky na náklady kontroly (snižuje se riziko výrobce) nebo úkoly kontrol jakosti (snižuje se riziko zákazníka).

10.2 Účinnost nákladů

Cílem každé analýzy kalibračního intervalu by mimo sledování nákladů spojených s rizikem výrobce, resp. zákazníka, mělo být to, aby se náklady připadající na interval udržovaly na minimální hodnotě. Tento požadavek spojený s požadavkem na minimalizaci rizika prováděných rozhodnutí vede k následujícím znakům, pomocí nichž se charakterizuje účinnost systému analýzy kalibračního intervalu:

- cílové hodnoty spolehlivosti měření jsou úměrné přijatelným úrovním rizika prováděných rozhodnutí,

- změny kalibračních intervalů ve vztahu k vypočteným hodnotám jsou úměrné cílovým spolehlivostem,
- použití algoritmů a metod, které dosáhnou správných intervalů v nejkratším možném čase,
- kalibrační intervaly jsou určeny s minimálním lidským zásahem nebo manuální prací,
- systémy analýzy kalibračního intervalu jsou racionalizovány ve vztahu k době provedení a požadavkům na uložení.

10.3 Citlivost systému

Kalibrační intervaly přiřazené k jednotlivým položkám měřicího zařízení mají odrážet aktuální chování spolehlivosti měření. Z toho důvodu musí být citlivé na jakékoliv změny charakteru měřicího zařízení nebo parametrů majících vliv na jeho spravování a použití. To znamená, že systémy by měly být schopné rychle reagovat na nová data kalibrační historie vytvořené od předcházející analýzy. Obecně se citlivost maximalizuje tehdy, když se určí prvotní kalibrační interval nebo se přehodnotí stávající interval, jakmile je nashromážděno dostatek nových dat pro případné určení prvotního intervalu nebo změnu stávajícího intervalu.

10.4 Využitelnost systému

Systémy kalibračních intervalů by měly umožňovat snadné a účelné zavedení výsledků rozborů. Tyto výsledky by měly být vyčerpávající, informativní a jednoznačné. Měly by být k dispozici mechanismy buď pro spojení výsledků analýzy přímo s příslušným kontrolním systémem daného měřicího zařízení nebo pro přenos informací do kontrolního systému zařízení tak, aby se minimalizovalo nové stanovení nebo převedení.

Systémy analýzy kalibračních intervalů v důsledku povahy dat, které se zpracovávají, a druhu analýz, které se provádějí, jsou ve své podstatě schopné produkovat i jiné produkty, než jsou kalibrační intervaly. Mimo jiné se jedná o podklady pro vyhodnocení dalších možných cílových spolehlivostí, obnovení nebo stanovení strategií a vyhodnocení mezí tolerance zařízení pomocí jejich vlivu na intervaly a pracovní zatížení.

10.5 Vyhodnocení systému

Pro zjištění přesnosti měřicího zařízení je třeba provádět jeho pravidelnou kalibraci. Stejně tak je nutné provádět pravidelné vyhodnocování systému analýzy kalibračního intervalu pro ověření jeho přesnosti. Takové vyhodnocení je však možné jen tehdy, byla-li předem stanovena kritéria provozu. Jedním takovým kritériem je postupné sledování (zaznamenávání) spolehlivosti měření vzhledem k cílové spolehlivosti měření.

Shodu mezi sledovanou spolehlivostí měření a stanovenou cílovou spolehlivostí lze vyhodnotit pomocí porovnání aktuálního počtu procent při kalibraci (sledovaná spolehlivost měření) a stanovené cílové spolehlivosti pro náhodný vzorek položek

označených výrobním číslem, které představují daný inventář. Je-li sledovaná spolehlivost měření pro daný vzorek jiná než cílová spolehlivost, pak je systém analýzy intervalu aktuální.

Sledovaná spolehlivost měření pro daný vzorek se vypočítá jako podíl počtu kalibrací v mezích tolerance pro daný vzorek a celkového počtu kalibrací ve vzorku.

11. TERMINOLOGIE

Měření

Soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny.

Výsledek měření

Hodnota získaná měřením přisouzená měřené veličině.

Přesnost měření

Těsnost shody mezi výsledkem měření a (konvenční) pravou hodnotou měřené veličiny.

Opakovatelnost měření

Těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže veličiny provedených za stejných podmínek měření.

Výběrová směrodatná odchylka

Pro sérii n měření téže měřené veličiny je to veličina s charakterizující rozptyl výsledků dána rovnicí

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

kde x_i je výsledek i -tého měření

\bar{x} je aritmetický průměr uvažovaných n výsledků

Nejistota měření

Parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině.

Chyby měření

Výsledek měření minus pravá hodnota měřené veličiny.

Měřitelná veličina

Vlastnost jevu, tělesa nebo látky, kterou lze kvalitativně rozlišit a kvantitativně určit.

Parametr přístroje

Vlastnost nějaké položky zařízení, kterou lze charakterizovat pomocí předpokládané jmenovité hodnoty ohraničené provozními specifikacemi.

Vyměrování měřicího přístroje

Činnost spočívající ve fixaci poloh značek stupnice měřicího přístroje ve vztahu k odpovídajícím hodnotám měřené veličiny.

Justování (měřicího přístroje)

Činnost spočívající v uvedení měřicího přístroje do funkčního stavu vhodného pro jeho používání.

Seřizování (měřicího přístroje)

Justování provedené pouze s použitím prostředků, které jsou k dispozici uživateli.

Stálost

Schopnost měřicího přístroje zachovávat svoje metrologické charakteristiky konstantní v závislosti na čase.

Etalon, (měřicí) standard

Ztělesněná míra, měřicí přístroj, měřidlo, referenční materiál nebo měřicí systém, které jsou určeny k definování, realizování, uchovávání nebo reprodukování jednotky nebo jedné či více hodnot veličiny k použití pro referenční účely.

Měřicí zařízení

Přístroje, které se používají pro měření, odhad, zkoušení, prohlídku nebo jinou prověrku položek za účelem určené shody se specifikacemi.

Návaznost

Vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou může být určen vztah k uvedeným referencím zpravidla národním nebo mezinárodním etalonům přes nepřerušovaný řetězec porovnávání jejichž nejistoty jsou uvedeny

Kalibrace

Soubor úkonů, kterými se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem nebo měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony.

Kalibrační interval

Časové období mezi následujícími kalibracemi naplánovanými pro určitou položku zařízení.

Meze spolehlivosti

Meze, které ohraničují rozsah hodnot, o nichž se předpokládá, že obsahují stanovenou hodnotu parametru nebo vlastnosti s předem stanovenou pravděpodobností.

Druhá položka

Zjistitelné seskupení zařízení charakterizované podobnou provozní aplikací (např. teploměr, tlakoměr, voltmetr, atd.).

Třída přístroje

Seskupení typových položek výrobce charakterizované podobnou přesností, provozními kritérii a aplikací.

Typ/výrobce

Zjistitelné seskupení zařízení charakterizované jednotnou konstrukcí, souborem provozních specifikací, výrobou, materiálem, zárukou a aplikací.

Položka označená výrobním číslem

Jedna zjistitelná jednotka zařízení, většinou označená určitým výrobním nebo inventárním číslem.

Meze tolerance

Specifikace vlastností měření, které pro danou vlastnost ohraničují oblast přijetí.

V mezích tolerance

- (1) Stav, v němž hodnota měřené vlastnosti leží v mezích provozních specifikací zaznamenaných pro danou vlastnost.
- (2) Stav, v němž všechny vlastnosti měření nějaké položky zařízení odpovídají zaznamenaným provozním specifikacím, tj. všechny vlastnosti měření jsou v mezích tolerance.

Mimo meze tolerance

- (1) Stav, v němž naměřená hodnota vlastnosti měření leží mimo provozní specifikace zaznamenané pro danou vlastnost.
- (2) Stav, v němž jedna nebo více vlastností nějaké položky neodpovídá zaznamenaným provozním specifikacím.

Prvek ležící mimo

Pozorování v každém extrému vzorku hodnot, které jsou značně vzdáleny od hlavního souboru tohoto vzorku tak, že jejich vyloučení ze vzorku zlepšuje platnost nebo přenos dat.

Míra mimo meze tolerance

- (1) Míra, s níž se vlastnost měření přesune ze stavu „v mezích tolerance“ do stavu „mimo meze tolerance“.
- (2) Záporná část časové derivace spolehlivosti měření vydělená spolehlivostí měření.

Konec periody

Konec doby. Týká se spolehlivosti měření nějaké položky na konci jejího kalibračního intervalu.

Cílová spolehlivost

Stanovená úroveň spolehlivosti měření přiměřená jakosti, nákladům a logistickým záměrům.

Spolehlivost měření

Pravděpodobnost, že všechny vlastnosti měření nějaké položky zařízení odpovídají provozním specifikacím. (Základním předpokladem analýzy kalibračních intervalů je to, že spolehlivost zařízení je funkcí doby mezi kalibracemi.).

Intenzita poruch

Ukazatel spolehlivosti, jehož hodnota $\lambda(t)$ udává podmíněnou pravděpodobnost, že během nekonečně malé časové jednotky bezprostředně následující po daném okamžiku t , dojde k poruše výrobku za předpokladu, že je výrobek v daném okamžiku v bezporuchovém stavu.

Hodnota intenzity poruch je obecně proměnlivá v závislosti na čase, tj. na stáří výrobku.

V II. části typického průběhu závislosti intenzity poruch na čase, tzv. vanové charakteristiky platí exponenciální zákon poruch

$$R(t) = e^{-\lambda t},$$

kde $R(t)$ je pravděpodobnost bezporuchového provozu a t je celková doba zkoušky.

Intenzitu poruch lze experimentálně stanovit jako poměr počtu porušených výrobků za malý časový interval po daném okamžiku k součinu počtu neporušených výrobků do tohoto okamžiku a velikosti časového intervalu. Pro střední dobu mezi poruchami $T_{stř}$ platí v tom případě

$$T_{stř} = 1/\lambda .$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu

Ukazatel spolehlivosti, jehož hodnota je rovna pravděpodobnosti, že během daného časového intervalu nenastane v zařízení porucha za předpokladu, že na začátku intervalu bylo zařízení v bezporuchovém stavu.

Hodnota pravděpodobnosti bezporuchového provozu se stanoví jako poměr počtu neporušených zařízení v daném časovém intervalu k celkovému počtu sledovaných zařízení a musí obsahovat údaj o délce intervalu k němuž je vztažena.

Známe-li průběh intenzity poruch $\lambda(t)$ v závislosti na čase t , můžeme vypočítat pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ podle vzorce

$$R(t) = \exp \left[- \int \lambda(t) dt \right]$$

Platí-li $\lambda(t) = \lambda$, λ je konst., což je v období normálního provozu, zjednoduší se uvedený vztah na

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad \text{což je exponenciální zákon poruch}$$

Data proměnných

Data udávající číselné hodnoty nějaké vlastnosti.

Provozní specifikace

Specifikace vlastností měření, které ohraničují rozsah hodnot považovaných za označující přijatelný provoz vlastností.

Vlastnost

Zjistitelný znak, který lze změřit.

Hodnoty vlastností

Hodnoty udávající stav vlastnosti (např. „v rámci tolerance“ nebo „mimo meze tolerance“).

12. ZÁVĚR

Problémy metrologické spolehlivosti a následně stanovení kalibračních intervalů měřicího zařízení se jeví neobyčejně vážnými a aktuálními vědeckotechnickými problémy, jejichž řešení dovoluje zabezpečit jednotnost měření, zvýšit kvalitu a spolehlivost výroby a celou řadu dalších činností a to vše při odpovědně vynaložených nákladech.

Uvedené problémy se jeví jako značně složité v důsledku působení celé řady specifických zvláštností. Je třeba si povšimnout, že moment nástupu metrologické poruchy závisí na charakteru změn v čase v důsledku stárnutí a spolupřítomnosti ovlivňujících veličin.

Vícenásobná sledování ukazují, že procesy měnící charakter chyb měřicího zařízení probíhají velmi pomalu, ale zastavit je v čase experimentu je ve většině případů nemožné. Rychlé zkoumání metrologické spolehlivosti je spojeno s analýzou změny nepřesností. Je možné využít metod extrapolace s cílem předpovědi metrologických poruch.

První specifikum problematiky metrologické spolehlivosti spočívá v tom, že pro její základní poučky se jeví klasická teorie spolehlivosti o poissonovském charakteru toku poruch se stálou intenzitou v čase jako nepravděpodobná. Studium metrologické spolehlivosti se zakládá na studiu změn chyb v čase a základním principem se následně jeví princip teorie náhodných funkcí.

Druhé specifikum se týká uvažovaných stavů. Současná teorie spolehlivosti se orientuje na výrobky, u nichž jsou uvažovány pouze dva charakteristické stavy: práce schopnost a práce neschopnost. Postupné změny chyb však umožňují uvést libovolné množství práce schopných stavů s různou úrovní efektivitu funkčnosti, definovanou mírou přiblížení k dovolené toleranci měřicího zařízení.

Složitost problému spočívá též v tom, že určit přesně čas nástupu metrologické poruchy v důsledku skrytého charakteru jejího projevu je nemožné, na rozdíl od zřejmých poruch, které mohou být odhaleny v okamžiku jejich vzniku.

Určitá obtížnost vyplývá z okolnosti, že část měřicího zařízení musí být při kalibraci prověřována na několika bodech jejich měřicího rozsahu a měřících rozsahů může být

více. V těchto případech se nutně zvětšuje objem prací spojených s kalibrací, což má za následek vynaložení vyšších nákladů. Někdy lze postupovat tak, že se kalibrace provede jen v omezeném počtu bodů pracovního rozsahu měřicího přístroje. To však předpokládá provedení určitého doplňkového zkoumání pro zajištění oprávněnosti postupu.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že zjišťování metrologické spolehlivosti a následně stanovení délky kalibračních intervalů měřicího zařízení je podstatně pracnější, než hodnocení spolehlivosti výrobků klasickými metodami. Je to spojeno jak se složitostí modelů popisujících časové změny metrologických charakteristik, tak i s vyššími náklady vynaloženými na určování metrologické spolehlivosti pomocí experimentů nebo cestou modelování.

Požadavky praxe nás však nutí hledat cesty řešení problémů metrologické spolehlivosti měřicích zařízení a optimalizace délky kalibračních intervalů.