

METODA ILOŚCIOWEJ OCENY JAKOŚCI MECHANIZMU ZEGAROWEGO

KD:681.112.329 - Zegary. Mechanizmy różne
IF: 3.2.2. - Przetwarzanie oraz regulacja i sterowanie wielkościami nieelektrycznymi

Przedstawiono metodę względnej ilościowej oceny jakości mechanizmów zegarowych. Podano liczbowy przykład jej zastosowania. Pokazano również na możliwości ogólniejszego zastosowania metody dla oceny jakości innych wyrobów.

Oceną jakości mechanizmów zegarowych zajmują się liczne wyspecjalizowane instytucje zarówno oficjalne, jak też działające bez oficjalnych uprawnień. Oceny te są dokonywane na podstawie badań technicznych, lecz przy zastosowaniu systemów różniących się między sobą tak znacznie, że nie ma możliwości nie tylko bezpośredniego ale nawet i pośredniego porównywania wyników uzyskanych w różnych ośrodkach.

Te bardzo różnorodne systemy posiadają jednak pewną cechę wspólną: wszystkie opierają się jedynie albo niemal jedynie na badaniach właściwości metrologicznych ocenianych mechanizmów. Bez względu na to jakie są przyczyny takiego stanu rzeczy nie ulega wątpliwości, że oceny takie nie mogą być uważane za pełne. Dają one jedynie lepsze lub gorsze informacje tylko o jednej, choć niewątpliwie ważnej, grupie właściwości mechanizmu zegarowego, a pomijają całkowicie lub uwzględniają tylko w pośredniej formie inne liczne cechy techniczne i użytkowe, często o niemałym znaczeniu.

Spośród zazwyczaj nie uwzględnianych przy ocenie można wyliczyć przykładowo takie cechy lub grupy cech, jak niezawodność, naprawialność, uniwersalność, materiałochłonność itp. Tymczasem często

*/ Niniejszy artykuł zamieszczamy jako artykuł dyskusyjny ze względu na to, że podane w nim wzory mają charakter empiryczny i z natury swojej wymagają rozległej weryfikacji w praktyce. Zastrzeżenie to jednak w niczym nie umniejsza wartości pracy, a raczej świadczy o jej oryginalności i nowatorstwie.

powstają sytuacje, w których możliwość dokonania oceny kompleksowej uwzględniającej wszystkie cechy uznane za ważne jest niezbędna, a jej wynik może przesądzić o ważkich decyzjach. Przykładem tego może być np. wstępny wybór ofert na duże dostawy, badania związane z zakupem licencji na produkcję, analiza planów rozwojowych producenta itp.

Rozważając założenia leżące u podstaw różnych możliwych systemów ocen jakości mechanizmów zegarowych dochodzi się do sformułowania następujących postulatów:

1. Dobór cech charakteryzujących ogólną jakość ma istotny wpływ na ocenę;
2. Poziom odniesienia przyjęty dla ogólnej oceny jakości nie może być wielkością bezwzględnie stałą.

Postulatom tym przypisuje się właściwości aksjomatyczne i z tego powodu nie muszą one być udowodnione w sposób ścisły. Istotnie, słuszność pierwszego z nich jest widoczna dostatecznie wyraźnie, przy czym postulat ten może być wykorzystany do świadomego tworzenia takich zestawów cech, które reprezentują właściwości najbardziej interesujące w konkretnych warunkach. Oczywisty jest też wynikający z tego postulat wniosek o celowości normalizacji metod i warunków przeprowadzania badań.

Drugi postulat wymaga pewnych wyjaśnień. Wśród cech jakości mechanizmów zegarowych są niewątpliwie takie, dla których można ustalić teoretyczną, nieprzekraczalną granicę. Można by więc np. mówić o "absolutnej" dokładności, "zerowej", zawodności, "nieskończonej" trwałości itp. Możliwości tej nie ma jednak dla wielu innych ważnych cech, jak np. materiałochłonności, pracochłonności, objętości i ciężaru, uniwersalności itp., gdyż nie posiadają one naturalnych ograniczeń. Cechy te nie mogą być jednak pominięte przy ocenie kompleksowej, a oczywiste wymaganie jednolitości zasad ustalenia poziomu odniesienia dla wszystkich uwzględnianych czynności skłania do przyjęcia postulatu o względności poziomu odniesienia.

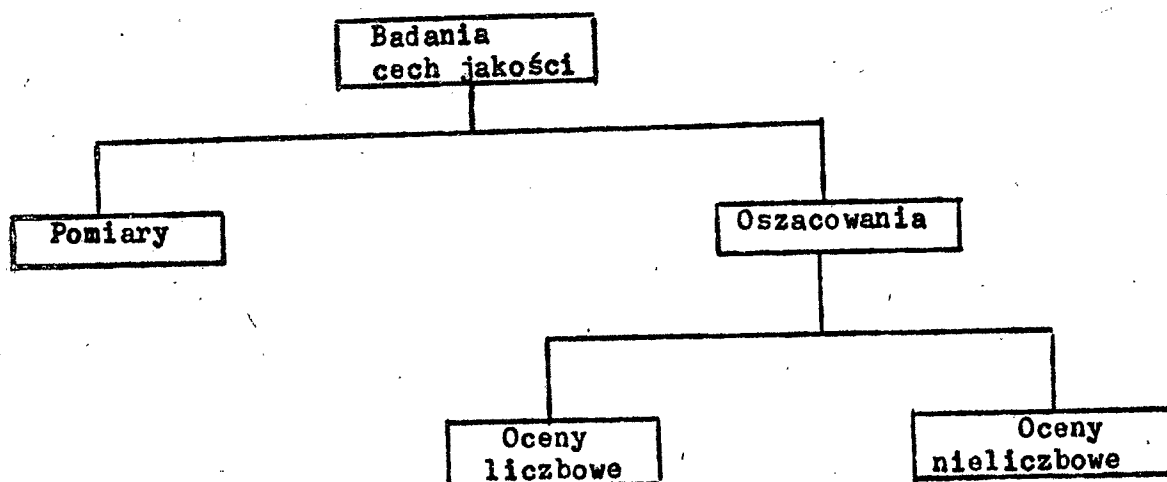
Istotnym elementem każdego systemu ocen jest zestawienie wykazu głównych cech /atrybutów/, przyjętych jako kryteria jakościowe oceny. Analiza tego problemu w odniesieniu do mechanizmu zegarowego wykazała przede wszystkim dużą różnorodność i niewystarczającą ścisłość określenia tych cech. Z tego powodu, dla ułatwienia ich rozpatrywania, a także dla wprowadzenia elementu naukowego porządku, niezbędne jest przeprowadzenie odpowiedniej klasyfikacji i normalizacji w zakresie definicji pojęć związanych z metrologią czasu.

Główną linię systematycznego podziału kryteriów oceny wyznacza charakter badań, których celem jest dostarczenie informacji o ocenianym wyrobie.

Ze względu na ten cel najbardziej właściwy jest podział na badania o charakterze p o m i a r ó w oraz badania oparte na o s z a c o w a n i u, co dotyczy takich cech, które pomiarom się nie poddają.

Wyniki pomiarów zostaną oczywiście wyrażone w formie liczbowej z dokładnością zależną od przyjętej metody, rodzaju i klasy aparatury pomiarowej oraz obróbki matematycznej uzyskanych wyników pomiarów.

Wyniki oszacowania cech niemierzalnych w zależności od ich rodzaju uzyskuje się albo również w postaci liczbowej, albo w formie opisowej /nieliczbowej/. W pierwszym przypadku są one zazwyczaj rezultatem obliczeń opartych na określonych regułach. W drugim w znacznym stopniu opierają się na subiektywnych wrażeniach bądź poglądach oceniającego. Schemat na rys. 1 te zależności ilustruje.



Rys. 1. Klasyfikacja badań cech jakościowych

Analizując szacunkowe oceny nieliczbowe stwierdzono, że odpowiednie cechy niemierzalne są na ogół zbiorem złożonym z licznych cech składowych o charakterze prostszym. Zauważono też, że im prostsza jest rozpatrywana cecha, tym łatwiej jest przedstawiać ją w sposób liczbowy. Uogólniając ten wniosek można twierdzić, że kompleksowa ocena jakości opiera się wyłącznie na systemie dostatecznie szczegółowych cech prostych określanych przez pomiary lub podających się bezpośredniemu oszacowaniu liczbowemu.

Na tle tego wyniku należy rozważyć dwa zagadnienia. Pierwsze dotyczy ustalenia jak głęboko należy prowadzić w praktyce analizę cech złożonych. W niektórych bowiem przypadkach doprowadzenie podziału do cech prostych, rozumianych jako cechy dające się określić liczbowo, wymaga zastosowania wielostopniowej analizy cech głównych. Różnicuje się przy tym stopień ważności tak powstałych cech prostych i rośnie błąd spowodowany eliminacją tych z nich, których rola w danej grupie jest nikła.

Stosunek do tego zagadnienia jest uwarunkowany z jednej strony z góry postawionymi wymaganiami co do dokładności oceny, a z drugiej całokształtem dysponowanych środków, na które składają się informacje o znaczeniu rozpatrywanej cechy oraz środki służące do jej ilościowego określenia. Zrównoważenie błędu jaki może powstać przez oszacowanie cechy niemierzalnej i błędu jaki powstaje przy zbyt szczegółowym jej rozkładzie na cechy proste oraz porównanie trudu czy kosztu dokonania tego procesu z celem jakiemu służy ocena daje na ogół dostateczne przesłanki do określenia racjonalnego stopnia rozdrobnienia głównych cech charakteryzujących oceniany wyrób. Niewątpliwie w pewnych przypadkach słuszniejsze będzie przyjęcie dla cechy złożonej oceny szacunkowej, nawet nieliczbowej, niż wprowadzenie dużej ilości trudnych do wyznaczenia cech prostych. Przeprowadzone wstępne próby praktyczne wykazały, że w znacznej większości przypadków wystarcza jedno-, a najwyżej dwustopniowy podział powszechnie znanych cech złożonych.

Następne zagadnienie polega na znalezieniu metody umożliwiającej przetworzenie wyników pomiarów i oszacowań wszystkich ocenianych cech badanego mechanizmu w taki sposób, aby w wyniku uzyskać ocenę kompleksową. Metoda ta powinna uwzględniać wyniki badań wszystkich cech uznanych za istotne dla oceny oraz wskazywać sposób zestawienia tych ocen w jedną wielkość przy zachowaniu indywidualnego, zróżnicowanego wpływu i znaczenia każdego z czynników składowych. Ponadto powinno być możliwe uwzględnienie zarówno cech liczbowych, wyrażanych w różnych jednostkach lub wielkościach bezwymiarowych, jak też i wyników oszacowań nie wyrażonych w postaci liczbowej. Jak to bowiem wykazano poprzednio, nie w każdym przypadku cechy złożone będą doprowadzone do postaci zespołu cech prostych, wyrażalnych bezpośrednio liczbowo.

Problem ten może być rozwiązany przez zastosowanie takiej transformacji wyników pomiarów i wyników oszacowań, aby w rezultacie uzyskać ujednolicenie ich formy.

W toku prac związanych z oceną jakości wyrobów a wprowadzonych przez autorów w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów zaproponowano przedstawiony poniżej sposób rozwiązania tak postawionych zadań.

Po dokonaniu wyboru istotnych atrybutów jakości danego wyrobu lub ich grupy przypisano ich pomiarom lub oszacowaniom pewne liczbowe oceny. Z formalnego punktu widzenia oceny te można więc uważać za funkcję jakości ze względu na rozważaną cechę wyrobu. Aby funkcja ta była użyteczna do rozważanego celu, powinna ona mieć przebieg monotoniczny, a jej rosnące wartości powinny odpowiadać korzystniejszemu z punktu widzenia jakości wartościom i oszacowaniom poszczególnych cech. W zasadzie tak określona funkcja jakości może mieć zarówno przebieg ciągły jak też i nieciągły /skwantowany/. Jednak szereg prób i badań wykazał lepszą przydatność do tego celu /przy oszacowaniu/funkcji o przebiegu nieciągłym i o niedużej ilości możliwych wartości /poziomów/. Rozbieżności w oszacowaniach cech jakości maleją bowiem szybko przy zmniejszaniu ilości tych poziomów, co wpływa korzystnie na ograniczenie subiektywizmu oszacowań.

Odrębnym zagadnieniem jest dobór przedziału zmienności i wartości skoku /różnicy sąsiednich poziomów/ funkcji jakości. Szczególnie dogodna w praktyce okazała się funkcja jakości spełniająca następujące warunki:

- Przedział zmienności jest zamknięty, stały dla wszystkich ocenianych cech i zawarty w przedziale od 0 do 2 włącznie;
- Skok funkcji jakości jest stały, równy 1;
- Poziomowi odniesienia przypisuje się umownie wartość funkcji jakości równą 1;
- Rosnącym wartościom funkcji jakości odpowiada wyższe oszacowanie cechy korzystnej;

Taką funkcję jakości, która spełnia powyższe warunki nazwano *standardyzowaną funkcją jakości* lub *oceną standardyzowaną* i oznaczono symbolem Ω . Właściwości funkcji Ω określa prosty wzór definicyjny:

$$\Omega/x/ = 0, 1, 2.$$

gdzie x jest wynikiem pomiaru lub oszacowaniem.

Operację transformacji oceny na jedną z wartości funkcji Ω nazywamy *standardyzacją oceny*. W przypadku oceny liczbowej x transformacja sprowadza się do ustalenia jakim przedziałom wartości x odpowiadają trzy możliwe wartości funkcji Ω . Jeżeli bowiem w odniesieniu do pewnej cechy zakres wartości x zawiera się w pewnym przedziale, to przedział ten zawsze można podzielić na trzy obszary odpowiadające wartościom funkcji Ω takim, że dla:

$$\Omega = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ 1 & \text{dla } x_1 \leq x \leq x_2 \\ 2 & x_2 < x \end{cases}$$

Sposób przyporządkowania wartości funkcji Ω nie ulega żadnym zmianom w przypadku, gdy przedziały zmienności x są jednostronnie lub dwustronnie otwarte, tj. gdy x przybiera wartości w zakresie od $-\infty$ do x_1 lub x_2 do $+\infty$.

W odniesieniu do cech niewyraźalnych wprost w postaci liczbowej ich szacunkowa ocena może być dokonana bezpośrednio w formie standardyzowanej, przez przypisanie odpowiedniej do znaczenia szacunku wartości funkcji Ω .

Stosując odpowiednio opisaną metodę do wszystkich cech głównych badanego mechanizmu zegarowego otrzymujemy szereg ocen A, B, C, ..., Z każdej z tych cech w postaci standardyzowanej, jako jedną z trzech wartości funkcji Ω . Aby w oparciu o te dane dokonać kompleksowej

oceny jakości tego mechanizmu, należy przyjąć taki sposób postępowania, który uwzględniłby różne znaczenie poszczególnych cech. Ich standaryzowana postać bezpośrednio takiej możliwości nie daje.

Najprostszym sposobem prowadzącym do tego celu będzie ustalenie dla poszczególnych atrybutów stosowanych wag, a następnie wyliczenie ostatecznej oceny jakości J jako średniej ważonej ze standaryzowanych ocen $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \dots, \Omega_n$.

Wartość J będzie miarą jakości względnej ocenianego mechanizmu w stosunku do przyjętego poziomu odniesienia $J_0 = 1$. Będzie więc:

$$J = \frac{\sum m_i \Omega_i}{\sum m_i}$$

gdzie: Ω_i jest zbiorem standaryzowanych ocen poszczególnych atrybutów, a m_i - odpowiadającymi im wagami.

Taka miara jakości odznacza się wieloma zaletami: przy właściwym ustaleniu wartości wag jest dostatecznie rzetelna, stosunkowo prosta do wyznaczenia, wysoce obiektywna, ma dogodną postać. Wartości liczbowe jakości J będą się zawierać zawsze w zakresie od 0 do 2, przy czym $J < 1$ będzie odpowiadało mechanizmowi gorszemu, a $J > 1$ - lepszemu niż przyjęty jako porównawczy, dla którego zgodnie z założeniem $J = 1$.

Zakres wartości wag przypisywanych poszczególnym atrybutom jakości nie podlega zasadniczym ograniczeniom. Jednakże i w tym przypadku, podobnie jak to miało miejsce przy doborze funkcji jakości, należy preferować liczby całkowite, w ograniczonym przedziale, o niewielkiej ilości możliwych wartości. Dobre wyniki uzyskano przyjmując jako jedyne dopuszczalne wagi liczby 1, 2, 3. Nie wyklucza to oczywiście innych możliwości doboru, gdyż nie będzie on miał istotnego wpływu na wartość przyjętej metody, której zaletą jest ten wysoki stopień elastyczności. Można ją łatwo dostosować do różnych celów przez zmianę doboru atrybutów lub wartości przyjętych wag.

Zasadę średniej ważonej jako miary reprezentatywnej dla grupy cech można też z powodzeniem stosować do oceny cechy złożonej w oparciu o standaryzowane oceny cech prostych $\Omega_a, \Omega_b, \Omega_c, \dots, \Omega_n$.

Sposób postępowania jest tu analogiczny do zastosowanego przy wyznaczaniu jakości względnej. Jediną różnicą jest konieczność przeprowadzenia standaryzacji tak uzyskanego wyniku, gdyż tylko w tej postaci może on być użyty do dalszych obliczeń lub porównań.

Jako przykład zastosowania przedstawionej metody przytoczono poniżej ocenę uzyskaną w oparciu o wynik badań pewnego mechanizmu zegarowego, porównywanego z innym o podobnej konstrukcji. Przykład ten ma zobrazować jedynie sposób doboru atrybutów jakości oraz ustalenia ich ocen i wag. Dlatego też nie uwzględniono wszystkich cech, jakie istotnie bierze się pod uwagę przy ocenie jakości, a tylko kilku z nich.

Z tych samych powodów wartości liczbowe podane w poszczególnych tablicach należy traktować jako orientacyjne i nie reprezentujące wyników prac ani poglądów. Kryteria jakości dla ustalenia ocen i ich wag zestawiono w tabeli 1.

T a b e l a 1

Atrybuty jakości, kryteria oceny i ich wagi

Lp.	Określenie	Symbol atrybutu	Kryterium jakość	Kryterium ilość	Ω	Waga m_i
1.	Poprawność wykonania	P	wadliwość części %	$> 0,7$ $0,7 + 1,5$ $< 1,5$	0 1 2	1
2.	Niezawodność	N	średnia intensywność uszkodzeń godz. ⁻¹	$> 5 \cdot 10^{-5}$ $2 + 5 \cdot 10^{-5}$ $< 2 \cdot 10^{-5}$	0 1 2	3
3.	Dokładność	M	średnia ważona ocen szeregu cech metrologicznych	$> 0,95$ $0,95 + 1,1$ $< 1,1$	0 1 2	3
4.	Cechy energetyczne	W	średnia ważona ocen szeregu cech energetycznych	$> 0,85$ $0,85 + 1,2$ $< 1,2$	0 1 2	3
5.	Użytkowość	U	ocena szacunkowa	niska wysoka b.wysoka	0 1 2	2
6.	Estetyka	E	ocena szacunkowa	niska wysoka b.wysoka	0 1 2	2

1. Ocena poprawności wykonania

Przyjęto następujące cechy proste poprawności wykonania:

- Wadliwość cech o dużym znaczeniu dla działania mechanizmu P_a ;
- Wadliwość cech o małym znaczeniu dla działania mechanizmu P_b ;
- Wadliwość cech nie mających wpływu na działanie mechanizmu P_c .

Uzyskano: $P_a = 0,9\%$, $P_b = 2,5\%$, $P_c = 2,8\%$.

T a b e l a 2

Ocena poprawności wykonania

Symbol	Wadliwość %	Ocena standaryzowana	Waga cechy
P_a	> 2	0	3
	$1 + 2$	1	
	< 1	2	
P_b	> 5	0	2
	$2 + 5$	1	
	< 2	2	
P_c	> 5	0	1
	$3 + 5$	1	
	< 3	2	

Zatem

dla $P_a = 0,9$ ocena standaryzowana $\Omega_a = 2$;

dla $P_b = 2,5$ $\Omega_b = 1$;

dla $P_c = 2,8$ $\Omega_c = 2$.

Średnia ważona ze standaryzowanych ocen częściowych wynosi:

$$P = \frac{3 \cdot \Omega_a + 2 \cdot \Omega_b + 1 \cdot \Omega_c}{3 + 2 + 1} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 2}{6} = \frac{10}{6} = 1,7$$

2. Ocena niezawodności

Ponieważ badany mechanizm stanowił nowe opracowanie, więc średnią intensywność uszkodzeń, w oparciu o znane analogie, przyjęto szacunkowo $\lambda = 3 \cdot 10^{-5}$.

3. Ocena dokładności

Jako proste cechy dokładności^{H/} przyjęto: rozstęp przyrostów poprawki R_H , największe uchybienie przyrostu poprawki D_{max} , uchybienie standardowe D_s , współczynnik temperaturowy przyrostu poprawki e_T .

Uzyskano następujące wyniki:

$$R_H = 22 \text{ s/d}; D_{max} = 28 \text{ s/d}^2; D_s = 14,5 \text{ s/d}^2; e_T = 2,0 \text{ s/d.deg.}$$

T a b e l a 3

Ocena dokładności

Symbol cechy	Kryterium ilościowe	Ocena standaryzowana	Waga cechy
R_H	> 60	0	3
	20 ± 60	1	
	< 20	2	
D_{max}	> 40	0	2
	20 ± 40	1	
	< 20	2	
D_s	> 30	0	3
	15 ± 30	1	
	< 15	2	
e_T	$> 2,5$	0	2
	$0,6 \pm 2,5$	1	
	$< 0,6$	2	

Stąd: $M = 1,1$

W podobny sposób oceniono pozostałe atrybuty jakości, tj. cechy energetyczne /przyjęte cechy proste: dobroć regulatora, sprawność przekładni/, użytkowość i estetyka. Wyniki zestawienie w tabeli 4.

^{H/} Użyto nazwy cech dokładności oraz ich symbole przyjęto zgodnie z PN-66/N-02051.

Wyniki ocen i oszacowań

Atrybut	P	N	M	W	U	E
Osiągnięte kryteria ilościowe	1,7	$3 \cdot 10^{-5}$	1,1	1,25	wysoka	niska
Ocena standaryzowana Ω_i	2	1	1	2	1	0

Jakość względna wyliczona na podstawie powyższych wyników i wartości wag podanych w tabeli 1 wynosi:

$$J = \frac{\sum m_i \cdot \Omega_i}{\sum m_i} = \frac{1 \cdot 2 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0}{1 + 3 + 3 + 3 + 2 + 2} = \frac{16}{14} = 1,14$$

Uzyskany w przykładzie wynik wskazuje, że oceniany mechanizm zegarowy można uznać za nieco lepszy od porównawczego w zakresie przyjętego doboru cech technicznych i użytkowych.

Analizując powyższy przykład można łatwo zauważyć, że znaczne polepszenie jednego z atrybutów, zwłaszcza o dużej wadze, może wyraźnie podwyższyć ocenę jakości względnej wyrobu mimo jednoczesnego pogorszenia oceny innej właściwości. Takie zastosowanie zasady substytucji, którą przyjęto jako naczelne założenie przedstawionej metody oceny, jest oczywiście niedopuszczalne, gdyż mogłoby prowadzić do wypaczenia polityki poprawy jakości, dla której metoda oceny powinna być naczelnym probierzem.

Ta wada metody może być jednak łatwo ograniczona lub nawet usunięta przez niezależne ustalenie minimalnych dopuszczalnych wartości ocen niektórych cech. Takie ograniczenie powinno dotyczyć szczególnie atrybutów mających największy wpływ na właściwości techniczne wyrobu, a więc o najwyższych wagach. Uzyskanie dla tych wybranych atrybutów ocen poniżej wartości minimalnych dyskwalifikowałoby wyrób niezależnie od wartości oceny wypadkowej.

Przedstawiona metoda oceny jest niewątpliwie obciążona pewnymi wadami i niedogodnościami, z czego autorzy w pełni zdają sobie sprawę. Wydaje się jednak, że mimo tego jej zastosowanie w praktyce w jakimś stopniu ograniczyłoby istniejącą dowolność w tej dziedzinie działalności i zawęziło pole ewentualnych rozbieżności poglądów do ściśle określonych problemów.

Opracowana z myślą o zastosowaniu do oceny jakości mechanizmów zegarowych metoda ta może być też na analogicznych zasadach adapta-

wana do oceny jakości wielu innych produktów przemysłowych. Warunkiem powodzenia będzie zawsze prawidłowy wybór istotnych cech jakości, zgodne ze współczesnymi osiągnięciami wymagania ujęte w tabelach standaryzacji ocen oraz właściwy ze względu na cel oceny dobór wag dla poszczególnych atrybutów.

Metoda ta może być też wykorzystana dla obiektywizacji ocen poziomu technicznego w grupach A, B, C. Dzięki swej elastyczności umożliwia ona łatwą zmianę wymagań w funkcji czasu przez odpowiednie kształtowanie zmian wartości w tabelach standaryzacji zależnie od dynamiki rozwoju techniki w danej chwili.