

Metodyka oceny jakości rozwiązań projektowych w procesie produkcyjnym.

Paweł Sewastianow

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej,
Zakład Informatyki Ekonomicznej, 42-200 Częstochowa, ul. Dąbrowskiego 71, sevast@icis.pcz.czyst.pl

Jarosław Łapeta

Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania, Instytut Ekonometrii i Informatyki, Zakład Informatyki Stosowanej,
42-200 Częstochowa, ul. Armii Krajowej 19b, tel. 034 32 50 378, jlapeta@zim.pcz.czyst.pl

Marek Lis

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroniki i Systemów Sterowania
42-200 Częstochowa, ul. Armii Krajowej 17

Streszczenie: Projektowanie dobrych rozwiązań w dobie gospodarki rynkowej jest bardzo ważnym elementem z punktu widzenia ekonomicznego i technologicznego. Konieczne jest tu wykonanie szczegółowego podziału na etapy cyklu życia produktu.

Między etapami cyklu życia produktu najważniejszym wydaje się być stadium projektowania. Określa się w nim zestawienie parametrów i charakterystyk produkcji, które najlepiej odpowiadają wymaganiom klientów. Czym dokładniej wykonano projektowanie, tym więcej zostało rozpatrzonych wariantów i tym lepszy będzie rezultat działalności produkcyjnej przez zmniejszenie kosztów eliminacji elementów niepełnowartościowych. Na etapie projektowania należy przeprowadzić ocenę jakości różnych wariantów w celu wybrania najlepszego

Główne założenia metodyki oceny jakości projektów zilustrowane zostaną na przykładzie oceny projektów systemu napędów elektrycznych.

I. WSTĘP

W toku projektowania systemów napędu elektrycznego jest wykonywane opracowanie bardziej lub mniej uszczegółowionych danych wyjściowych, koniecznych dla rozwiązania zadań (problemów). W rezultacie takiego opracowania, opartych na odpowiednich metodach [1], zostaje przedstawiona techniczna dokumentacja systemów napędu elektrycznego, która w sposób maksymalny odpowiada postawionym wymaganiom. Sformułowane ostatecznie zadanie odnosi się do problemów wielokryterialnej optymalizacji.

Jakość rezultatów projektowania w znacznym stopniu zależy od subiektywnych czynników, np. intuicji i kwalifikacji projektantów. Na ile owe czynniki są rezultatami wieloletniego doświadczenia pracy specjalistów, wielu prób i błędów, wykluczenie ich z analizy doprowadziłoby do poważnego zubożenia przedstawienia ujęcia zadania optymalnego projektowania, a w jeszcze gorszym przypadku do nie przyjęcia ostatecznych rezultatów przez specjalistów, którzy podejmują ostateczne decyzje dotyczące projektu.

II OPIS PROCESU TWORZENIA METODY

Najczęściej proces projektowania dzieli się na następujące etapy:

- Analiza informacji wejściowej i określenie zadania;
- Wybór jednego albo kilku odpowiadających wariantów z licznej grupy dopuszczalnych rozwiązań z uwzględnieniem najważniejszych wymagań;
- Wstępna kalkulacja parametrów dla wyboru wariantów, ocena ich jakości w celu wyboru najlepszego wariantu rozwiązania
- Dokładne obliczanie i optymalizacja wybranego wariantu
- Opracowanie dokumentacji technicznej

Z analizy wyżej wymienionych etapów widać, że w procesie projektowania produkcji wielokrotna ocena poszczególnych wariantów i ich porównywanie z wariantem, który spełnia postawione wymagania, ma na celu wybór najlepszego rozwiązania. Na początku uwzględniane są techniczne, technologiczne, ekonomiczne charakterystyki rozpatrywanych wariantów, a także aspekt ekologiczny i ergonomiczny opracowania

Podczas przeprowadzania oceny jakości projektowania można wydzielić następujące grupy wymagań: obowiązkowe, minimalne oraz pożądania (nie obowiązkowe ale takie które chcielibyśmy, aby były spełnione).

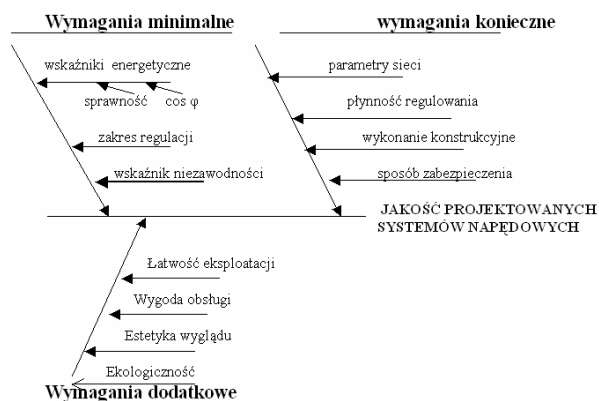
Do wymagań obowiązkowych, które w rozpatrywanym wypadku powinny być ściśle przestrzegane można zaliczyć np. parametry sieci zasilającej, płynność regulowania prędkości obrotowej, rozwiązania konstrukcyjne, sposób zabezpieczenia, rozmiary gabarytowe maszyn i przetworników siłowych, kompatybilności z innymi urządzeniami itp. Wymagania minimalne, do których niewypełnienia nie można dopuścić to między innymi wymagania dotyczące skali (zakresu) regulowania prędkości obrotowej, dokładności regulowania, sprawności, bezawaryjności, poziomu hałasu, itp.

Wypełnienie dodatkowych wymagań podwyższa w pewien sposób jakość projektowanego systemu napędowego w stosunku do jego estetyki wyglądu, łatwości obsługi i komfortu w eksploatacji. Wymagania te nie są konieczne, ale w miarę możliwości należy je wypełniać.

Przy przeprowadzaniu oceny jakości projektowanego systemu napędu elektrycznego, jako eksperci zostały wydzielone następujące pierwszorzędne i drugorzędne czynniki przyczynowe, mające wpływ na jakość projektowanego systemu:

- **minimalne wymagania, w tym:**
 - wskaźniki energetyczne (sprawność i współczynnik mocy ($\cos \varphi$));
 - zakres regulacji;
 - niezawodność;
- **konieczne wymagania, w tym:**
 - parametry sieci;
 - płynność regulowania;
 - wykonanie konstrukcyjne;
 - sposób zabezpieczenia
 - kompatybilność i innymi urządzeniami
- **dotatkowe, w tym:**
 - łatwość w eksploatacji;
 - łatwość obsługi;
 - estetyka wyglądu;
 - ekologia.

Diagram przyczynowo skutkowy, wyrażający stosunki czynników przyczynowych, wykazujących oddziaływanie na jakość projektowanych systemów napędowych, został pokazany na rys.1.



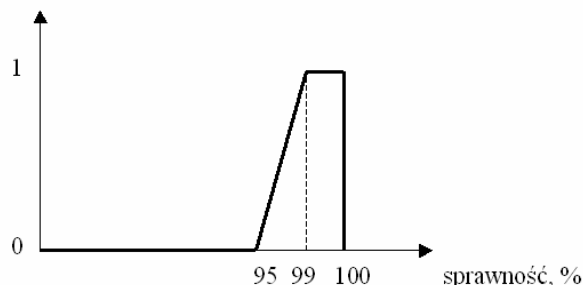
Rysunek 1 – Diagram przyczynowo – skutkowy dla oceny jakości projektowanych systemów napędowych [6]

Ogólnym kryterium oceny jakości jest synteza wszystkich poszczególnych kryteriów, z uwzględnieniem współczynników ich względnej ważności. Pozwala ona na odpowiednią ocenę różnych wariantów projektów systemów napędowych i wybranie najlepszego wariantu.

Do syntezy poszczególnych kryteriów w jeden ogólny należy sprowadzić owe kryteria do wspólnej bazy, tak aby można je było porównać. W tym celu można wykorzystać matematyczny aparat teorii zbiorów rozmytych.[2]

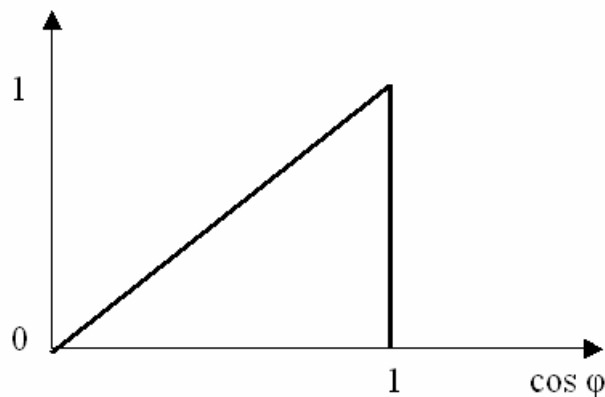
Przy projektowaniu systemów napędowych prądu przemiennego można przeprowadzić ocenę jakości na bazie wymienionych wyżej poszczególnych wskaźników jakości. Określając dla każdego wskaźnika najgorszą i najlepszą wartość i rozpatrując je jako punkty charakterystyczne można zbudować funkcję, która formalizowałaby opis poszczególnych kryteriów.

Współczynniki użyteczności charakteryzują stopień przetworzenia mocy elektromagnetycznej, pobieranej z sieci w moc mechaniczną. Im wyższa ich wartość, tym lepszy system napędowy. Faktyczny współczynnik sprawności pokazuje, ile energii jest wykorzystywanej na pracę użyteczną a jaka część energii jest tracona. Dla napędu elektrycznego straty mogą wynosić od 1% do 5%. Wykres funkcji przynależności jest przedstawiony na rysunku 2. Najlepszą wartością sprawności jest wartość w przedziale 99-100%, dopuszczalną w przedziale 95-99%, niedopuszczalną – poniżej 95%.



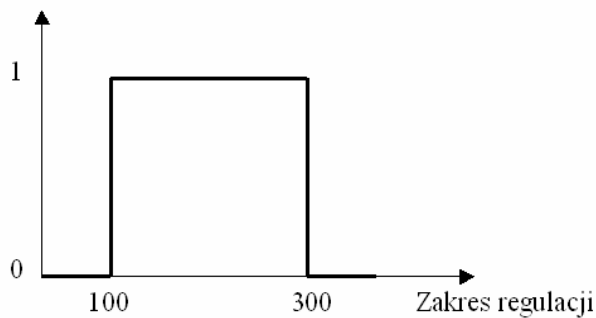
Rysunek 2 – Pożądana postać funkcji dla współczynnika sprawności [4]

Współczynnik mocy $\cos \varphi$ określa jaką część mocy całkowitej stanowi moc aktywna przekazywana na wał odbioru mocy silnika. Im wyższa wartość tej charakterystyki tym lepsze wskaźniki projektowanego systemu. Postać funkcji przynależności jest przedstawiona na rysunku3. Im wartość $\cos \varphi$ jest bliższa jedności tym lepiej.



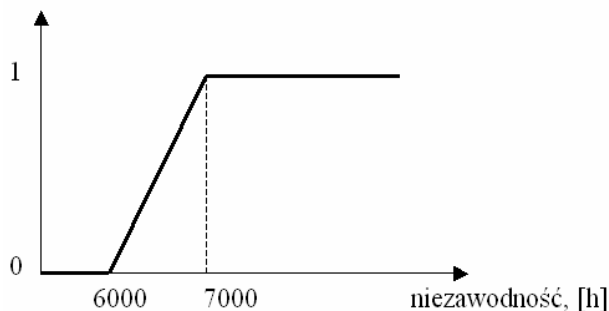
Rysunek 3 – pożądana postać funkcji dla mocy[4]

Zakres regulowania charakteryzuje granice zmiany średnich wartości zmiennej x , możliwych przy danym sposobie regulowania. Możliwe przedziały regulowania zmiennej są ograniczane z góry maksymalnymi dopuszczalnymi lub maksymalnie możliwymi do zrealizowania wartościami zmiennej. Z dołu natomiast – wymaganą dokładnością lub minimalną możliwą do uzyskania w ten sposób wartością zmiennej. Pożądana postać funkcji jest przedstawiona na rysunku 4. W tym przypadku wartości w przedziale od 100 do 300 spełniają określone wymogi, natomiast wszelkie wartości większe od 300, bądź mniejsze od 100 są niedopuszczalne.



Rysunek 4 – pożądana postać funkcji dla zakresu regulacji. [4]

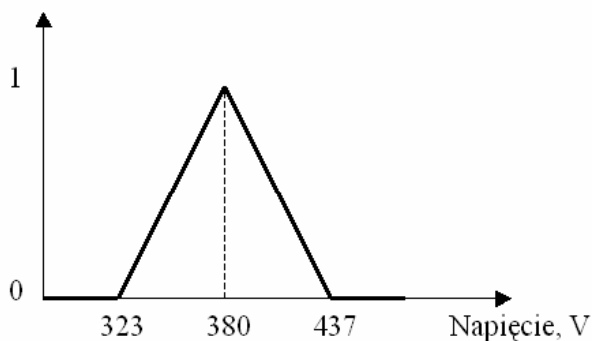
Średni wskaźnik niezawodności to średnia ilość wykonanych części w partii do pierwszego przestoju w pracy powstałej z winy urządzeń. Pożądana postać funkcji dla parametru niezawodności jest przedstawiony na rysunku 5. Jest niedopuszczalne, jeśli wartość niezawodności wynosi mniej niż 6000 godzin, dopuszczalna wartość to ok. 6000 –7000 godzin, najlepiej jednak, gdyby wartość ta przekroczyła 7000 godzin.



Rysunek 5 – pożądana postać funkcji dla wskaźnika niezawodności [4]

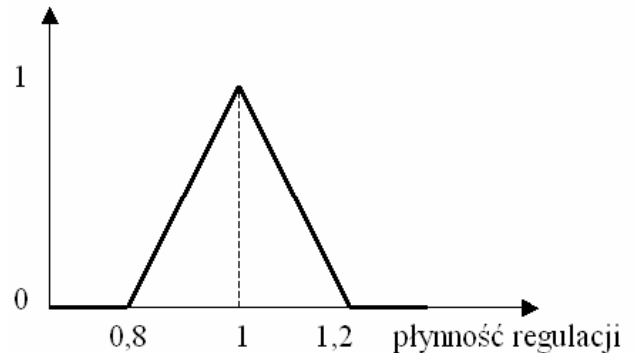
Spośród parametrów sieci należy wydzielić te, które w sposób pośredni wpływają na pracę systemu napędu elektrycznego. W tym przypadku można wymienić: napięcie nominalne, z uwzględnieniem dopuszczalnych odchyłek od średniej wartości. Pożądana wartość funkcji dla tego parametru jest przedstawiona na rysunku 6.

Najbardziej odpowiednim napięciem jest to o wartości nominalnej 380 V i dopuszczalne odchylenia w stosunku $\pm 15\%$ od wartości nominalnej. Większe odchyłki są niedopuszczalne.



Rysunek 6 – pożądana postać funkcji dla parametrów sieci [4]

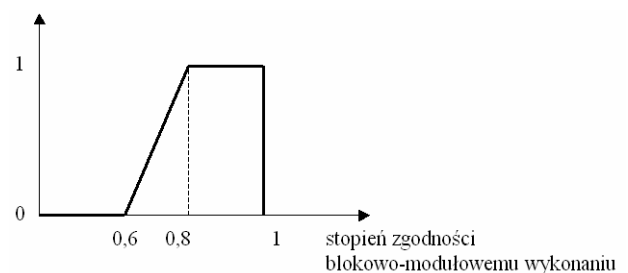
Płynność regulowania charakteryzuje liczbę dyskretnych wartości regulowanego parametru, która jest możliwa do wykonania przy danym sposobie regulacji w danym zakresie. Im większa liczba realizowanych stopni regulacji, tym bliższa wartość współczynnika płynności do jedności i tym bardziej płynną regulację zapewnia napęd. Dopuszczalne jest odchylenie $\pm 0,2$ od wartości najbardziej pożądanej.



Rysunek 7 – pożądana postać funkcji dla płynności regulowania [4]

Przez wykonanie konstrukcyjne rozumie się wykorzystanie blokowo – modułowej zasady dla stworzenia schematów i konstrukcji złożonych wyrobów. Oznacza to wykorzystanie standardowych modułów i typowych węzłów w systemie napędowym. Od liczby powtórzeń i złożoności standardowych elementów i bloków zależy złożoność systemu napędowego.

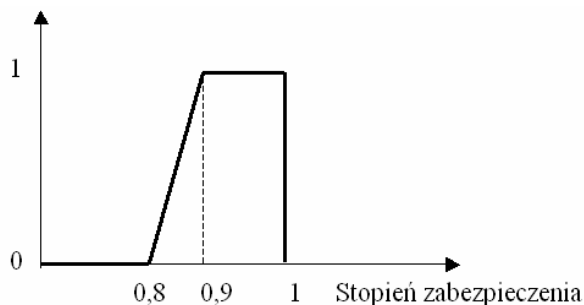
Parametr „wykonanie konstrukcyjne” rozpatruje się z punktu widzenia stopnia zgodności systemu napędowego z blokowo – modułowym wykonaniem. Im wyższy stopień zgodności, tym łatwiejszy w obsłudze napęd. Pożądana postać funkcji jest przedstawiona na rysunku 8. W najlepszym przypadku zgodność systemów blokowo – modułowych z zasadą wykonania kształtuje się na poziomie 80-100%, poziom dopuszczalny to 60-80%, poniżej 60% - poziom niedopuszczalny.



Rysunek 8 – Pożądana postać funkcji dla blokowo – modułowego wykonania[4]

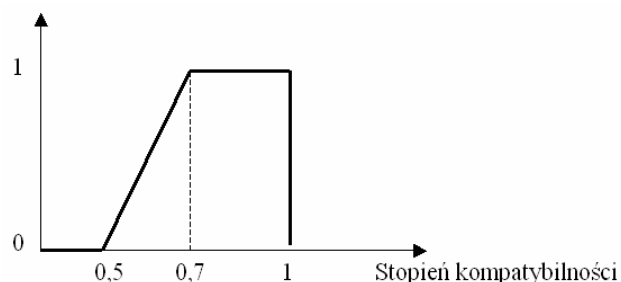
Sposób zabezpieczenia proponuje taką budowę schematów i konstrukcji, przy której awaria jednego elementu nie powoduje awaryjnego przestoju innego elementu i nie doprowadza ostatecznie do zastopowania całego obiektu. Jeśli nie można tego osiągnąć, to należy wprowadzić specjalne urządzenia zabezpieczających. Także ochrona systemu napędowego zakłada obecność wbudowanych urządzeń, zabezpieczających system przed

zamykaniem, przeciążeniem, pewnymi błędami wynikającymi z nieprawidłowej eksploatacji. Jeśli system nie wymaga dodatkowych urządzeń ochronnych, to stopień jego zabezpieczenia jest wysoki. Pożądana postać funkcji jest przedstawiona na rysunku 9. Niewystarczający poziom zabezpieczenia jest wtedy, gdy wartość jest mniejsza od 80% (czyli na 100 przypadków, które mogą zakłócić działanie obiektu tylko 80 jest wykrywane i neutralizowane), najlepsza, gdy mieści się w przedziale 90-100%.



Rysunek 9 – Pożądana postać funkcji dla stopnia zabezpieczenia [4]

Standaryzacja sygnałów wejścia i wyjścia, parametrów źródeł zasilania, rozmiarów gabarytowych i kompatybilności zapewni ich wzajemnie zgodną „współpracę” w procesie wykonawstwa. Projektowane systemy napędowe powinny zapewniać kompatybilność z innymi urządzeniami, tj. nie powinny wymagać dodatkowych mechanizmów umożliwiających wspólną pracę urządzeń. Pożądana postać funkcji została przedstawiona na rysunku 10. Poziom dopuszczalny kształtuje się w granicach 50-70% , powyżej 70% sytuacja jest bardzo dobra, natomiast poziom kompatybilności poniżej 50% jest niedopuszczalny.



Rysunek 10 – Pożądana postać funkcji dla kompatybilności urządzeń[4]

Wygoda eksploatacji zakłada, że przy produkcji zaprojektowanych systemów napędowych nie jest przekroczony poziom możliwości psychologicznych operatorów, obsługujących systemy. Poza tym muszą być zagwarantowane w miarę możliwości komfortowe warunki pracy.

Łatwość montażu oznacza, że wprowadzenie systemu powinna przebiegać bez żadnych poważnych dodatkowych wydatków.

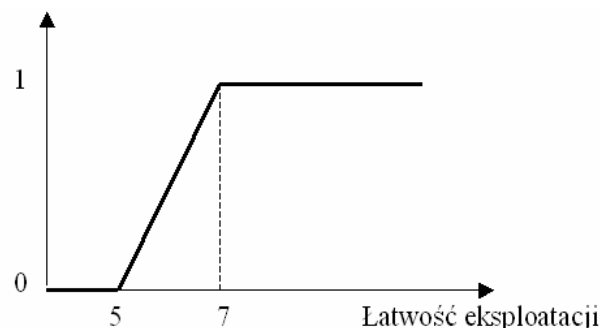
Łatwość w eksploatacji i łatwość montażu ocenia się w skali dziewięciopunktowej,[3] przedstawionej w tabeli 1.

Pożądane postacie funkcji zostały przedstawione na rysunkach 11 i 12

Tabela 1 – Lingwistyczna ocena łatwości obsługi systemu [5]

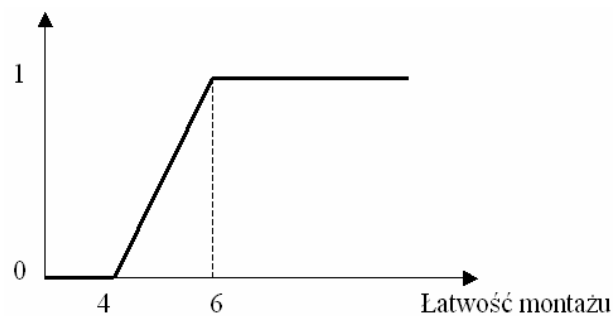
Wartość	Opis
1	Brak wygody
2	Bardzo niska wygoda
3	Niska wygoda
4	Nie najgorsza wygoda
5	Zadawalająca wygoda
6	Srednia wygoda
7	Wysoki poziom wygody
8	Bardzo wysoki poziom wygody
9	Maksymalny poziom wygody

Dla prawidłowej eksploatacji niedopuszczalny jest poziom poniżej zadawalającego. Dopuszczalny jest poziom średni, zaś najlepszym jest poziom wysoki i lepszy.



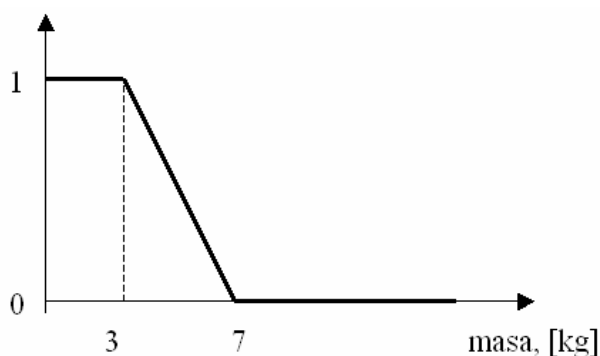
Rysunek 11 – Pożądana postać funkcji dla łatwości eksploatacji. [4]

Do montażu dopuszczalny jest stopień zadawalający, niedopuszczalny są warunki gorsze od „nienajgorszych”, najlepsze są zaś te, które są powyżej zadawalających.



Rysunek 12 – Pożądana postać funkcji dla wygody montażu[4]

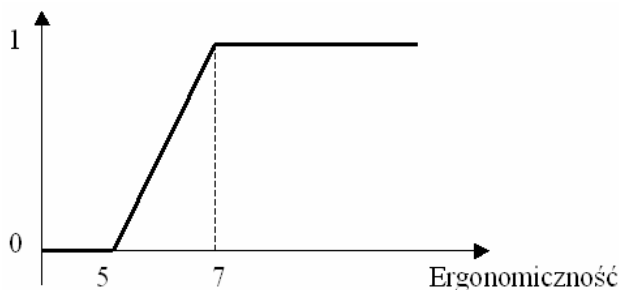
Wygląd zewnętrzny jest związany ze wskaźnikami wielkogabarytowymi projektowanych systemów. Najważniejszym dla tego parametru jest wskaźnik masy. Pożądana postać funkcji jest przedstawiona na rysunku 13. Najbardziej pożądana jest masa poniżej 3kg, masa w zakresie 3-7 kg jest dopuszczalna, powyżej – nie jest dopuszczalna



Rysunek 13 – pożądana postać funkcji dla wyglądu zewnętrznego[4]

Ergonomiczność oznacza, że projektowane systemy powinny być bezpieczne i proste z punktu widzenia ich eksploatacji przez człowieka. Uwzględnia ona także cechy szczególne personelu. Ten parametr pokazuje, w jaki sposób systemy napędowe uwzględniają fizjologiczne i anatomiczne cechy człowieka. Ocena wskaźnika jest przeprowadzana przez dziewięciopniową skalę, analogicznie jak przedstawiono w tabeli 1. pożądana postać funkcji została przedstawiona na rysunku 14.

Ergonomiczność powinna być w stopniu nie niższym niż zadowalającym, dopuszczalny jest średni poziom ergonomiczności, najbardziej pożądanym jest stan wysokiej lub bardzo wysokiej ergonomiczności.



Rysunek 14 – pożądana postać funkcji dla ergonomiczności. [4]

Generalnie rzecz ujmując, wszystkie jakościowe i ilościowe wskaźniki przedstawiane są jednej bezwymiarowej skali funkcji pożądanego, co pozwala na dalsze ich porównywanie oraz redukcję do jednej ogólnej oceny.

Stopień wpływu każdego czynnika na całokształt jakości projektu można określić z pomocą macierzy zależności wzajemnych wg opisanej powyżej metodyce rejestracji współczynników względnej ważności.

Proces budowy macierzy wzajemnych zależności można rozpatrzeć na przykładzie „zyczeń”. Mając cztery kryteria: wygoda eksploatacji, prostota montażu, wygląd zewnętrzny i ekologia. Eksperti z pomocą skali oceny lingwistycznej (słownej) oceniają wartość tych kryteriów. Macierz wyników wzajemnych zależności dla „pożądanego stanu” została przedstawiona w tabeli 2.

Tabela 2 – Macierz wzajemnych zależności [4]

	Wygoda eksploatacji	prostota montażu	wygląd zewnętrzny	ekologiczność
Wygoda eksploatacji	1	3	7	3
prostota montażu	1/3	1	5	3
wygląd zewnętrzny	1/7	1/5	1	1/3
ekologiczność	1/3	1/3	3	1

Dalej zostaje przeprowadzona rejestracja współczynników wzajemnych zależności na podstawie macierzy wzajemnych zależności.

Następnym etapem jest odpowiednie agregowanie poszczególnych kryteriów i ograniczeń, sformułowanych za pomocą funkcji „pożądania” w pewne ogólne kryteria z uwzględnieniem rang. Synteza została przeprowadzona wg trzech głównych zasad: addytywnej, multiplikatywnej i globalnego pesymizmu. W rezultacie otrzymano oceny jakości wykonania koniecznych i minimalnych wymagań (kryteriów). Wartość ocen jakości czynników pierwszego stopnia zostały przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3 – uogólnione kryteria jakości dla systemu napędowego [4]

Czynnik	Kryterium globalnego pesymizmu	Kryterium multiplikatywne	Kryterium addytywne
Wymagania konieczne	0,63	0,62	0,65
Minimalne wymagania	0,58	0,59	0,62
„Zyczenia”	0,44	0,45	0,48

Przy przejściu na wyższy stopień diagramu przyczynowo – skutkowego, należy koniecznie wypełnić macierz wzajemnych zależności dla czynników tego poziomu. Przykład tablicy został przedstawiony w tabeli 4.

Tabela 4 – Macierz wzajemnych zależności dla czynników pierwszego stopnia [4]

	Wymagania konieczne	Wymagania minimalne	„Zyczenia”
Wymagania konieczne	1	5	7
Wymagania minimalne	1/5	1	5
„Zyczenia”	1/7	1/5	1

Na bazie danych otrzymanych z powyższej tabeli zostały obliczone rangi kryteriów. Rezultaty wyliczeń zostały ukazane w tabeli 5.

Tabela 5 – Rang dla czynników stopnia pierwszego [4]

Nazwa kryterium stopnia pierwszego	Wartość rang
Wymagania konieczne	2,3
Wymagania minimalne	0,47
„Zyczenia”	0,23

Na bazie otrzymanych wartości rang dla czynników poziomu pierwszego i uogólnionych ocen jakości kryteriów niższego poziomu, zostają sformułowane globalny wskaźnik jakości projektowanych systemów napędowych. W sumie otrzymujemy integralną ilościową ocenę, zmieniającą się w zależności od poziomu techniki jej zbudowania. Skala tej oceny zmienia się od 0 – poziom jakości niezadowalający aż do 1 – w wypadku idealnym z punktu widzenia zapewnienia jakości. Wartości globalnego wskaźnika, sformułowanego wg trzech głównych zasad syntezy, zostały przedstawione w tabeli 6.

Tabela 6 – wartości globalnych kryteriów jakości [4]

Kryteria jakości	Wartości globalnych kryteriów
Globalny pesymizm	0,34
Multiplikatywny	0,22
Addytywny	0,86

III PODSUMOWANIE

Została przeprowadzona jakościowa ocena regulowanego napędu elektrycznego prądu przemiennego z wykorzystaniem oddzielnego przetwornika siłowego AT01 – 75 i otrzymane następujące rezultaty: wartości kryterium maksymalnego pesymizmu i multiplikatywnego kryterium wyniosły odpowiednio 0,34 i 0,22, wartość kryterium addytywnego – 0,86. Niskie wartości dwóch pierwszych kryteriów wskazuje na niepełną zgodność z zadanymi wymaganiami temu typu napędu. Dostatecznie wysoka wartość kryterium addytywnego spowodowało kompensację niskich wartości mniej ważnych czynników na konto wysokiej wartości czynnika najważniejszego.

Taka metoda oceny jest szczegółową syntezą wszystkich czynników wpływających na jakość projektowanego układu napędowego, uniezależnioną od względów osobistych decydentów.

III LITERATURA

- [1] Sewastjanow P., L. Dymowa, E. Rzestkowa, Metoda wielokryterialnej oceny jakości i jej realizacja w postaci oprogramowania. Materiały konferencji międzynarodowej NITE, Mińsk, grudzień, 2000, V. 3, s. 50 - 54. (in Russian)
- [2] Zadeh L.A., Fuzzy Sets //Information and Control.- 1965. V. 8. - P. 338 - 353.
- [3] Saaty T., Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures //J. of Mathematical Psychology. – 1977. – Vol. 15. – № 3. – P. 234 – 281.
- [4] Opracowanie własne na podstawie [1].
- [5] Opracowanie własne na podstawie [3].
- [6] Opracowanie własne na podstawie [7]
- [7] Tanaka Hideo, Asai Kiyaii. Fuzzy linear programming based on fuzzy functions //Bull. Univ. Osaka Prefect. – 1980. – Vol. 29. – № 2. – P. 113 – 125.