

Karol OSOWSKI¹, Andrzej KĘSY¹
Marcin MIGUS²

KONCEPCJA BUDOWY SYSTEMU EKSPERTOWEGO DO KONSTRUOWANIA NAPĘDÓW HYDROKINETYCZNYCH MASZYN BUDOWLANYCH

W artykule przedstawiono koncepcję doradczego systemu ekspertowego do konstruowania napędów hydrokinetycznych maszyn budowlanych. System będzie budowany z użyciem programu komputerowego „PC-Shell” wchodzącego w skład pakietu sztucznej inteligencji „Sphinx”, w którym wiedza jest reprezentowana w postaci prostych i złożonych reguł. System na podstawie danych zawartych w bazie wiedzy, będzie generował diagnozy w postaci stwierdzeń. Zastosowanie powyższego narzędzia umożliwi wykorzystanie różnych metod reprezentacji wiedzy.

1. WSTĘP

Napęd hydrokinetyczny stosowany jest powszechnie w napędzie jazdy maszyn budowlanych, gdyż zmniejsza obciążenia dynamiczne i tłumi drgania, przez co trwałość napędu jest bardzo duża [1],[2],[3]. Ponadto pozwala na płynną i samoistną zmianę przełożenia w zależności od obciążenia. Szczególnie istotną zaletą stosowania napędu hydrokinetycznego w napędzie jazdy maszyn budowlanych jest brak bezpośredniego połączenia między wałem wejściowym a wałem wyjściowym, co skutkuje brakiem obciążeń udarowych przenoszonych z kół do silnika napędowego. Wadą napędu hydrokinetycznego jest niezbyt wysoka sprawność maksymalna oraz wąski zakres wysokich sprawności. W skład napędu hydrokinetycznego wchodzi zawsze podzespół hydrokinetyczny (przekładnia, sprzęgło lub hamulec hydrokinetyczny). Przekładnia hydrokinetyczna zbudowana jest z trzech kół łopatkowych: pompy, turbiny oraz kierownicy. Koła łopatkowe posiadają kanały, przez które przepływa ciecz robocza. Kanały są tworzone przez łopatki i ściany korpusów kół łopatkowych.

¹ Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno–Humanistyczny, im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

² Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sandomierzu

Podczas projektowania napędów hydrokinetycznych, ze względu na małą dokładność istniejących modeli matematycznych, trudno jest uzyskać konstrukcję spełniającą założenia konstrukcyjne. W skutek tego proces konstruowania trzeba powtarzać nawet kilkakrotnie, co generuje duże koszty. Problem pojawia się, gdy po przeprowadzeniu prawidłowego procesu konstruowania, zgodnie ze sztuką inżynierską, rezultat jest niezadowolający. Nasuwa się, wtedy pytanie: co należy zrobić?

Sztuczna inteligencja to dziedzina informatyki stosowanej, związana z opracowywaniem inteligentnych programów komputerowych zwanych ekspertowymi [4],[5]. Zastosowanie sztucznej inteligencji w konstrukcji maszyn związane jest głównie z zagadnieniami niesformalizowanymi lub słabo sformalizowanymi, w których metody matematyczne nie są dostatecznie dokładne, a więc brak jest możliwości utworzenia algorytmów postępowania dających prawidłowy wynik. Rozwiązaniem jest wtedy wykorzystanie wiedzy i doświadczenia ludzkiego odpowiednio zinterpretowanego i przekształconego przez program komputerowy. Systemy ekspertowe to programy komputerowe oparte na wiedzy przeznaczone do rozwiązywania specjalistycznych problemów, które wymagają analizy i syntezy na poziomie trudności pokonywanych przez ludzkiego eksperta. Systemy te mają za zadanie wspomagać człowieka w opracowaniu rozwiązań opartych na istniejącej wiedzy. Wiedza ta najczęściej jest opracowana przez ludzi – ekspertów, a następnie implementowana w środowisku, w którym stworzony został system [6]. Systemy ekspertowe wykorzystują różne metody reprezentacji wiedzy, do których należą: rachunek zdań i predykatów, fakty i reguły, sieci semantyczne oraz ramy. Klasyczne systemy ekspertowe zwane systemami z bazą wiedzy składają się z trzech podstawowych elementów: bazy wiedzy, mechanizmu wnioskowania i interfejsu. Systemy ekspertowe mogą być tworzone za pomocą specjalistycznych narzędzi, do których zalicza się programy szkieletowe, pakiety programowe ułatwiające tworzenie bazy wiedzy i implementację systemu, języki systemów ekspertowych, języki programowania symbolicznego, a także języki algorytmiczne.

Systemy ekspertowe, ze względu na zastosowanie, można podzielić na: systemy doradcze, oceniające i decyzyjne. Najszersze zastosowanie wśród systemów ekspertowych znajdują systemy doradcze, dla których wynikiem działania jest rozwiązanie zadanego problemu.

W artykule zaproponowano użycie doradczego systemu ekspertowego do wspomaganie konstruowania napędów hydrokinetycznych maszyn budowlanych.

2. SYSTEMY EKSPERTOWE W BUDOWIE MASZYN

Obecnie istnieją doradcze systemy ekspertowe opracowane w celu wspomaganie konstrukcji, wytwarzania i sterowania układów hydraulicznych stosowanych w maszynach budowlanych i kopalnianych. W publikacji [7] przedstawiono wykorzystanie doradczego systemu ekspertowego do wyboru rozwiązania konstrukcyjnego układu hydraulicznego w procesie współbieżnego konstruowania. System ten może współpracować z innymi systemami z zakresu sztucznej inteligencji. Podczas projektowania układu hydraulicznego brano pod uwagę funkcjonalność, niezawodność i technologię konstrukcji. Problemem,

podczas konstruowania układu hydraulicznego, jest uwzględnienie wielu czynników, w tym cech geometrycznych, technologicznych i funkcjonalnych. Nawet niewielkie zmiany w kolejności połączenia elementów hydraulicznych w układ lub dobór innych elementów składowych układu hydraulicznego mogą istotnie wpłynąć na charakterystyki, a także koszty wytworzenia takiego układu. Konstruowanie współbieżne w odniesieniu do tradycyjnego podejścia sekwencyjnego, gdzie poszczególne etapy projektowania następują kolejno, pozwala na jednoczesne rozwiązanie wszystkich problemów projektowych. Jednak projektowanie współbieżne jest skomplikowane i dla efektywnej realizacji wymaga komputerowego wspomaganie, w tym przypadku przez system ekspertowy. Opracowany system ekspertowy na podstawie podanych założeń wstępnych generuje i ocenia różne koncepcje układów hydraulicznych.

W artykule [8] opisano doradczy system ekspertowy służący do projektowania procesu technologicznego podczas wytwarzania elementów cylindrów hydraulicznych. System ten jest przeznaczony dla konkretnych użytkowników, którzy powinni być określone już na etapie ustalania założeń do budowy systemu. Koncepcję systemu doradczego oparto tu o schemat, który umożliwia wyszukiwanie i wymianę informacji oraz przedstawienie informacji w postaci dokumentacji technologicznej. W systemie wzięto pod uwagę dobór materiału wejściowego, obróbkę wstępną oraz obróbkę końcową. Opracowano metodę symbolicznego przedstawienia elementów cylindra hydraulicznego, bazującą na cechach geometrycznych. Reguły systemu ustalono na podstawie badań wpływu wymiarów charakterystycznych elementów cylindrów hydraulicznych na dobór materiałów i dobór operacji technologicznych.

Natomiast w pracy [9] przedstawiono doradczy system ekspertowy służący do doboru parametrów pracy górniczego kombajnu chodnikowego, w zależności od warunków urabiania. System ten ma za zadanie wspieranie operatora w doborze optymalnych parametrów pracy. Użycie systemu umożliwia prowadzenie drażenia chodnika w sposób optymalny w zależności od warunków górniczych oraz geologicznych. Podstawą systemu są algorytmy programów obliczeniowych i symulacyjnych. Programy te optymalizują proces urabiania przez minimalizację nakładu pracy, koniecznej do wykonania chodnika o zadanym kształcie i przekroju. Opracowano dwa warianty doradczego systemu ekspertowego. Pierwszy wariant ułatwia pracę operatorowi kombajnu podczas ręcznego sterowania głowicą skrawającą. Tu głównym zadaniem systemu jest wybór parametrów roboczych zapewniających efektywne wykorzystanie głowicy. Drugi wariant systemu jest podzespołem automatycznego układu sterowania procesem urabiania.

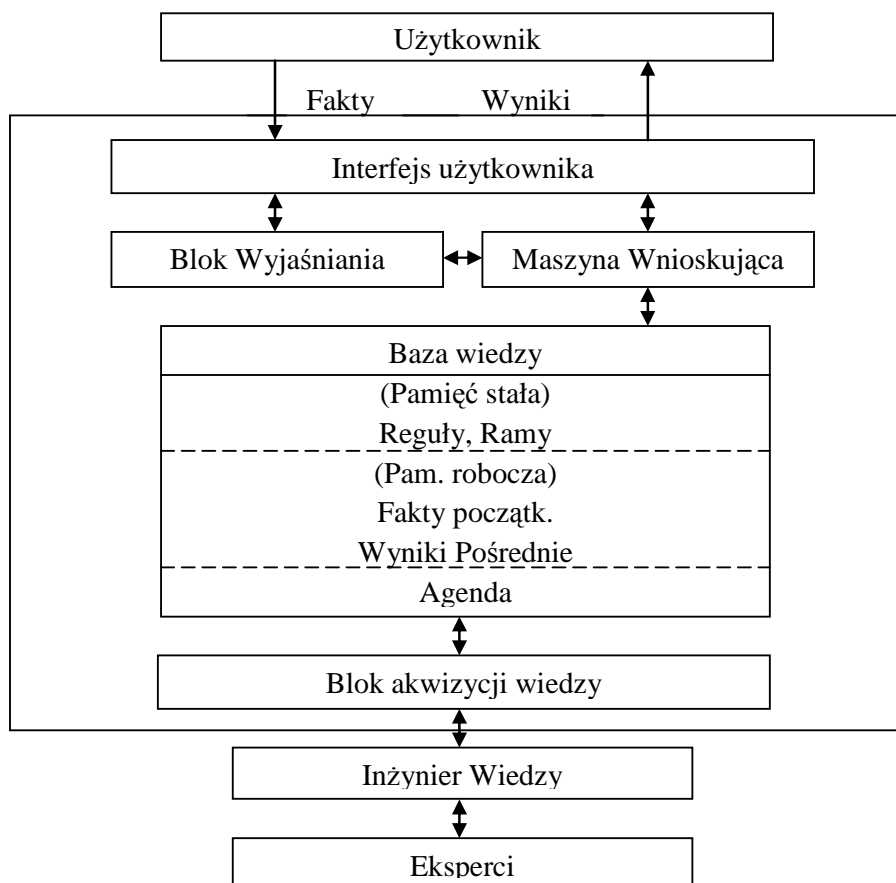
3. SYSTEM EKSPERTOWY DO WSPOMAGANIA KONSTRUKCJI PRZEKŁADNI HYDROKINETYCZNEJ

Według koncepcji przedstawionej w tym artykule system ekspertowy, wspomagający proces konstrukcji przekładni hydrokinetycznej, będzie doradczym systemem ekspertowym opartym na wiedzy. Podstawowe elementy składowe tego systemu będą zgodne z klasyczną strukturą blokową stosowaną we współczesnych systemach ekspertowych (rys. 1).

Wynikiem działania systemu będzie uzyskanie odpowiedzi, co należy zrobić, aby

uzyskać konstrukcję zgodną z założeniami konstrukcyjnymi w przypadku, gdy nowa konstrukcja nie spełnia postawionych wymogów. System na podstawie danych zawartych w bazie wiedzy, będzie generował diagnozy w postaci stwierdzeń. Narzędziem do stworzenia systemu będzie szkieletowy system doradczy PC-Shell wchodzący w skład pakietu sztucznej inteligencji Sphinx. Zastosowanie powyższego narzędzia umożliwi wykorzystanie różnych metod reprezentacji wiedzy. Ułatwi to rozszerzanie i aktualizację wiedzy zawartej w bazie danych. Dla sposobu działania systemu ekspertowego przyjęto następujące założenia ogólne:

- konstruktor pracuje z systemem ekspertowym w trybie dialogowym, wprowadzając dane między innymi przez udzielanie odpowiedzi na pytania generowane przez system,
- system ekspertowy generuje diagnozy w formie stwierdzeń o zmianie wybranych wartości parametrów konstrukcyjnych.



Rys. 1. Struktura blokowa współczesnego systemu ekspertowego [4]
 Fig. 1. Block structure of the modern expert system [4]

Punktem wyjściowym do budowy systemu ekspertowego jest stworzenie bazy wiedzy oraz określenie najważniejszych parametrów wskaźników oceny [10], mających wpływ na przebieg procesu konstruowania.

3.1. WSKAŹNIKI OCENY I PARAMETRY KONSTRUKCYJNE

Proces konstruowania napędu hydrokinetycznego wymaga określenia wymogów kinematycznych i dynamicznych, przewidywanych obciążeń, warunków współpracy z silnikiem napędowym oraz uwzględnienia czynników ekonomicznych, produkcyjnych i eksploatacyjnych. Celem sprawdzenia spełnienia przez napęd hydrokinetyczny postawionych wymogów oraz umożliwienia oceny wpływu różnych wielkości, w tym parametrów konstrukcyjnych, wprowadzono wskaźniki oceny właściwości napędu [2],[11]. Wyróżniono wskaźniki charakterystyki statycznej, wskaźniki charakteryzujące własności eksploatacyjne, wskaźniki związane z produkcją, a także wskaźniki oceniające możliwości spełnienia szczególnych wymagań stawianych napędowi przez dany typ maszyny budowlanej. Podczas doboru napędu hydrokinetycznego maszyny budowlanej przeznaczonej do pracy w ściśle określonych warunkach zadawane są wartości wskaźników oceny, które zapewnią, że konstrukcja ta będzie optymalna. Do dokonania wyboru najważniejszych wskaźników oceny stosuje się punktową ocenę ekspercką [11]. Jak wynika z przeglądu literatury najczęściej wybieranymi wskaźnikami oceny są wskaźniki związane z przebiegiem charakterystyki statycznej podzespołu hydrokinetycznego, to jest: zakres ekonomicznej pracy, maksymalna sprawność, maksymalne przełożenie dynamiczne oraz przenikalność.

Zmianę wartości wskaźników oceny, celem uzyskania lepszej konstrukcji, osiąga się przez zmianę wartości parametrów konstrukcyjnych. Wyboru parametrów konstrukcyjnych, pod kątem największego wpływu na najważniejsze wskaźniki oceny, można także dokonać za pomocą punktowej oceny eksperckiej [11]. Według [10] takimi parametrami są w kolejności: kąty łopatek na linii średniej na wejściu i wyjściu z kół łopatkowych, promienie linii średniej kanałów kół łopatkowych na wejściu i wyjściu z kół łopatkowych, momenty bezwładności mas związanych z wałem wyjściowym i wejściowym napędu hydrokinetycznego. Wartości parametrów konstrukcyjnych powinny mieścić się w zakresach ich występowania w istniejących konstrukcjach. W tabeli 2 przykładowo podano zakresy zmienności kątów łopatek rzeczywistych konstrukcji przekładni hydrokinetycznych. Przyjęcie wartości spoza stosowanych zakresów może prowadzić do otrzymania gorszych wskaźników oceny.

Tabela 1. Zakresy zmienności kątów łopatek rzeczywistych konstrukcji przekładni hydrokinetycznych
Table 1. Range of variability of the actual angles of blades torque converters

Lp.	Kąt	Oznaczenie	Wartość [°]
1.	Na wejście do koła łopatkowego pompy	β_{11}	90 – 130
2.	Na wyjściu z koła łopatkowego pompy	β_{12}	75 – 150
3.	Na wejście do koła łopatkowego turbiny	β_{21}	30 – 75
4.	Na wyjściu z koła łopatkowego turbiny	β_{22}	129 – 160
5.	Na wejście do koła łopatkowego kierownicy	β_{31}	70 – 140
6.	Na wyjściu z koła łopatkowego kierownicy	β_{32}	20 – 50

3.2. BAZA WIEDZY

Baza wiedzy systemu tworzona będzie przy użyciu języka opisu bazy wiedzy *Sphinx*, integrującego w sobie deklaratywny język reprezentacji wiedzy. Wiedza reprezentowana będzie w postaci reguł i faktów. Zawarte w niej będą informacje dotyczące wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych na wskaźniki oceny napędu hydrokinetycznego. Baza wiedzy zostanie podzielona na blok opisu faktów i blok opisu reguł. Przez fakty określone zostaną zakresy zmienności poszczególnych parametrów konstrukcyjnych, w tym kąty łopatek na wejściu i wyjściu do kół łopatkowych. Opracowane zostaną fakty typu:

F1: *Kąt wejściowy łopatek koła łopatkowego pompy* $\beta_{11} = 90 - 130$ [°];

F2: *Kąt wyjściowy łopatek koła łopatkowego pompy* $\beta_{12} = 75 - 150$ [°];

Przez reguły określony zostanie wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych na wskaźniki oceny. Opracowane zostaną reguły proste typu:

R1: *If wzrasta kąt β_{12} then rośnie maksymalne przełożenie dynamiczne;*

R2: *If $\beta_{22} > 90^\circ$ then rośnie maksymalna sprawność.*

Ponadto zostaną opracowane reguły złożone typu:

R1: *If wzrasta kąt β_{12} then rośnie przełożenie dynamiczne and zmniejsza się moment obrotowy przenoszony przez koło łopatkowe pompy;*

R2: *If zmniejsza się kąt β_{32} then rośnie maksymalna sprawność and maksymalne przełożenie dynamiczne.*

Wiedza zostanie opracowana na podstawie fachowej literatury z zakresu napędów hydrokinetycznych w tym norm, patentów, dysertacji, artykułów naukowych, książek oraz ocen ekspertów. Uzyskany na podstawie ocen ekspertów zbiór reguł poddany zostanie ocenie wg procedury opisanej w [12]. Wiedza zapisana w postaci wykresów, wzorów oraz zależności będzie przetwarzana do postaci stwierdzeń i zapisywana w formie plików tekstowych. Dane umieszczone w bazie wiedzy będą pobierane przez system z pewnymi wagami. Przykładowo wartość „1” przypisywana będzie danym pochodzącym z badań stanowiskowych, wartość „0,5” danym pochodzącym z rozważań teoretycznych.

3.3. SPOSÓB WERYFIKACJI

Ocena prawidłowości działania tworzonego doradczego systemu ekspertowego będzie przeprowadzona na podstawie procedury konstruowania przekładni hydrokinetycznej. Dla wybranej przekładni hydrokinetycznej o znanej charakterystyce zostanie skonstruowane nowe koło łopatkowe z użyciem doradczego systemu ekspertowego, celem założonej zmiany charakterystyki tej przekładni. Nowe koło łopatkowe będzie zamontowane w pierwotnej przekładni hydrokinetycznej na miejsce istniejącego, tworząc nową przekładnię. Dla tak utworzonej przekładni zostaną wyznaczone charakterystyki przez

wykonanie badań stanowiskowych. Weryfikacja działania doradczego systemu ekspertowego zostanie dokonana przez stwierdzenie w jakim stopniu charakterystyki nowej przekładni różnią się od tej, która wynika z założonej zmiany charakterystyki.

4. PODSUMOWANIE

Zastosowanie systemów ekspertowych do rozwiązywania problemów konstrukcyjnych napędów hydrokinetycznych może być niezwykle efektywne, w praktyce jednak utworzenie takiego systemu wymaga rozwiązania szeregu złożonych problemów. Najistotniejszym z nich jest opracowanie metodyki umożliwiającej zapis i przetworzenie specjalistycznej wiedzy eksperckiej do postaci akceptowanej przez moduł wnioskujący systemu.

Przedstawiona koncepcja budowy doradczego systemu ekspertowego pozwoli na zbudowanie system opartego na wiedzy ekspertów, który umożliwi rozwiązanie dotychczas trudnych do rozwiązania, stosowanymi metodami, problemów konstrukcyjnych. Podstawą tej koncepcji jest użycie wskaźników oceny napędu hydrokinetycznego do oceny jakości tworzonej konstrukcji oraz wybór i określenie wpływu parametrów konstrukcyjnych napędu hydrokinetycznego na wybrane wskaźniki oceny.

LITERATURA

- [1] KĘSY A., KĘSY Z., 1993, *Damping Characteristics of a Transmission System with a Hydrodynamic Torque Converter*, J. of Sound and Vibration, 163/3.
- [2] KĘSY A., KĘSY Z., MADEJA J., 1998, *Ocena właściwości tłumiących przekładni hydrokinetycznej*, XI Konferencja Naukowa, Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane.
- [3] KĘSY Z., 2001, *Hydrokinetyczne układy napędowe*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom.
- [4] BIAŁKO M., 2005, *Sztuczna inteligencja i elementy hybrydowych systemów ekspertowych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
- [5] CHROMIEC J., STRZEMIECZNA E., 1994, *Sztuczna inteligencja. Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.
- [6] POKOJSKI J., 2005, *Systemy doradcze w projektowaniu maszyn*, WNT, Warszawa.
- [7] ROHATYŃSKI R., DOMAGAŁA Z., PROKOPOWICZ J., 2000, *Wybór koncepcji układu hydraulicznego z wykorzystaniem systemu ekspertowego*, Hydraulika i Pneumatyka, 4.
- [8] PARTYKA M., PASZEK A., 2012, *Inżynieria wiedzy w projektowaniu procesów technologicznych cylindrów hydraulicznych*, Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna, Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne, Wrocław.
- [9] ROGALA - ROJEK J., 2011, *System doradczy wspomagający operatora kombajnu chodnikowego*, Rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- [10] KĘSY A., 2004, *Numeryczna identyfikacja i optymalizacja napędu hydrokinetycznego środków transportu*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom.
- [11] СТЕСИН С. П., 1996, *Оптимизация параметров гидродинамических приводов строительных и дорожных машин*, Машиностроение, Москва, 172.
- [12] MOCZULSKI W., 1997, *Metody pozyskiwania wiedzy dla potrzeb diagnostyki maszyn*, ZN Politechniki Śląskiej, 1382, seria: Mechanika, 130, Gliwice.

THE CONCEPT OF EXPERT SYSTEM CREATION TO DESIGN EARTH MACHINE HYDRODYNAMIC TRANSMISSION SYSTEM

The paper presents the concept of expert system creation to design earth machine hydrodynamic transmission systems. The system will be built using a computer program "PC-Shell" forming part of a package of artificial intelligence "Sphinx" in which knowledge is represented in the form of simple and complex rules. The system based on information contained in the knowledge base, will generate a diagnosis statements. The use of this tool will enable the use of various methods of knowledge representation.