

Modele dynamiczne procesu flotacji węgla wyznaczone przy użyciu metody zmiennej instrumentalnej

W artykule przedstawiono wyniki zastosowania metody zmiennej instrumentalnej do identyfikacji własności dynamicznych procesu flotacji węgla. Omówiono metodykę badań oraz przedstawiono wyniki obliczeń parametrów modeli dynamicznych określających wpływ natężenia przepływu odczynnika flotacyjnego na zawartość popiołu w odpadach flotacyjnych. W artykule przeprowadzono analizę porównawczą rezultatów uzyskanych metodą zmiennej instrumentalnej oraz metodą najmniejszych kwadratów. Prezentowane parametry modeli dynamicznych zostały obliczone w oparciu o rzeczywiste dane uzyskane z badań przemysłowych.

1. WSTĘP

W przypadku węgla kamiennych, wzbogacanie metodą flotacji stosowane jest dla nadawy składającej się z ziaren mniejszych od 0,5 [mm] (max <1 [mm]). Z punktu widzenia automatyzowania procesu, flotacja węgla jest wielowymiarowym, dynamicznym nieliniowym obiektem sterowania [1,4,6]. Proces ten cechuje mnogość wielkości wejściowych i wyjściowych. Do wielkości wejściowych zaliczyć należy: natężenie przepływu nadawy – Q_n o zawartości popiołu A_n i koncentracji części stałych w nadawie K_{cs} , natężenie przepływu odczynnika flotacyjnego V_o , natężenie przepływu powietrza do aeracji mętów Q_a oraz poziom zawiesiny w komorach flotownika h . Wielkościami wyjściowymi są: ilość (wychód) koncentratu W_k , zawartość popiołu w koncentracie A_k , ilość (wychód) odpadów W_o , zawartość popiołu w odpadach A_o . Jednym z najważniejszych sygnałów sterujących, decydujących w znacznej mierze o efektach prowadzenia procesu jest natężenie przepływu odczynnika flotacyjnego. Przy utrzymywaniu pozostałych parametrów sterujących na stałych poziomach i niezmienności (lub nieznacznych zmianach) w czasie pozostałych wielkości wejściowych (ustalony stan pracy), wartość natężenia przepływu odczynnika flotacyjnego decydować będzie o parametrach ilościowych i jakościowych produktów flotacji. W

układach przemysłowych flotacji węgla z sygnałów wyjściowych pomiarowo dostępny jest wyłącznie parametr jakościowy odpadów. Wskazanie popiołomierza odpadów flotacyjnych niejako naturalnie staje się sygnałem pozwalającym operatorowi w sposób pośredni dokonywać na bieżąco oceny prowadzenia procesu. W niniejszym artykule ograniczono się do analizy wyznaczonych modeli dynamicznych procesu flotacji węgla traktowanego jako obiekt o jednym wejściu sterującym (natężenie przepływu odczynnika flotacyjnego) i jednym wyjściu pomiarowo dostępnym (zawartość popiołu w odpadach flotacyjnych).

2. METODA ZMIENNEJ INSTRUMENTALNEJ

Dyskretny obiekt dynamiczny można opisać równaniem:

$$Y(k) + a_1 \cdot Y(k-1) + \dots + a_n \cdot Y(k-n) = b_1 \cdot U(k-1) + \dots + b_n \cdot U(k-n) + N(k) + c_1 \cdot N(k-1) + \dots + c_n \cdot N(k-n) \quad (1)$$

gdzie:

$U(k), Y(k)$ – sygnał wejściowy i wyjściowy,
 $N(k)$ – szum biały,
 a_i, b_i, c_i – parametry.

W celu identyfikacji parametrów modelu dynamicznego metodą zmiennej instrumentalnej (ang. *instrumental variables*) można przyjąć następujący zapis macierzowy [7,9]:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{Y} &= \begin{bmatrix} Y(1) \\ Y(2) \\ \vdots \\ Y(k) \\ \vdots \\ M \\ Y(k) \\ M \end{bmatrix}; \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} N(0)+c_1N(-1)+\Lambda+c_nN(-n) \\ M \\ \vdots \\ N(k)+c_1N(k-1)+\Lambda+c_nN(k-n) \\ M \\ \vdots \\ M \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{C} &= \begin{bmatrix} -Y(0) & \Lambda & -Y(-n) & U(0) & \Lambda & U(-n) \\ M & & M & M & & M \\ -Y(k-1) & \Lambda & -Y(k-n) & U(k-1) & \Lambda & U(k-n) \\ M & & M & M & & M \end{bmatrix}; \\
 \mathbf{D} &= \begin{bmatrix} Y(-n) & \Lambda & Y(-2n) & U(0) & \Lambda & U(-n) \\ M & & M & M & & M \\ Y(k-n-1) & \Lambda & Y(k-2n) & U(k-1) & \Lambda & U(k-n) \\ M & & M & M & & M \end{bmatrix}; \quad (2)
 \end{aligned}$$

gdzie:

\mathbf{D} – macierz zmiennej instrumentalnej pomiarów opóźnionych.

Wobec tego, stosując zapis

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\theta} + \mathbf{v} \quad (3)$$

estymator według zmiennej instrumentalnej wyznacza się z zależności:

$$\boldsymbol{\theta}_V = (\mathbf{D}^T \mathbf{C})^{-1} \mathbf{D}^T \mathbf{Y} \quad (4)$$

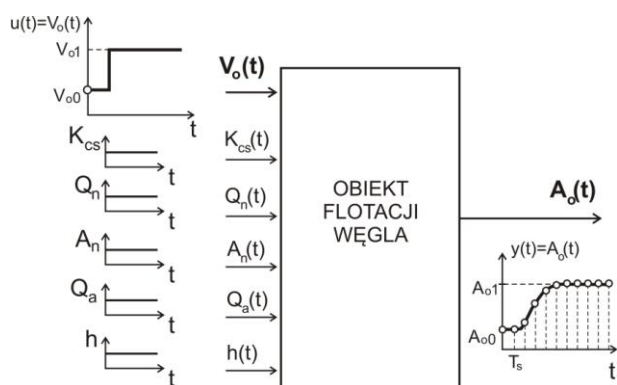
Przedstawiony estymator $\boldsymbol{\theta}_V$ jest określony wyrażeniem algebraicznym, któremu można nadać postać rekurencyjną [7].

3. METODYKA BADAŃ

Zadanie badawcze ograniczono do analizy wyników obliczeń przeprowadzonych metodą zmiennej instrumentalnej pod kątem jej przydatności w zakresie identyfikacji modeli dynamicznych procesu flotacji węgla. Zagadnienie identyfikacyjne sprowadzono do wyznaczenia modelu parametrycznego pozwalającego ocenić jakiego rzędu modelem liniowym można aproksymować dynamikę procesu flotacji węgla, czyli jaki charakter ma przebieg sygnału wyjściowego (A_o) w stanie nieustalonym przy przechodzeniu obiektu z jednego stanu pracy do drugiego na skutek skokowej zmiany sygnału sterującego (V_o).

Dane pomiarowe niezbędne do wyznaczenia modeli dynamicznych uzyskano z badań przemysłowych przeprowadzonych (w części przez zespół) dla dwóch

różnych obiektów: pojedynczego flotownika typu IZ-12 oraz trzech flotowników typu IZ-12 w konfiguracji – dwa równoległe flotowniki pierwotne, połączone szeregowo z trzecim flotownikiem wtórnym [3]. W eksperymencie przemysłowym zastosowano metodę odpowiedzi skokowej, polegającą na skokowej zmianie natężenia przepływu odczynnika flotacyjnego dozowanego do układu i rejestracji wywołanych zmian sygnału wyjściowego (zawartości popiołu w odpadach flotacyjnych), przy utrzymaniu na stałych poziomach pozostałych wielkości wejściowych w trakcie trwania doświadczenia pomiarowego. Ideę pomiarów charakterystyk dynamicznych metodą odpowiedzi skokowej w odniesieniu do identyfikacji własności dynamicznych procesu flotacji węgla, traktowanego jako obiekt o jednym wejściu sterującym V_o i jednym wyjściu A_o , przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Pomiar własności dynamicznych procesu flotacji węgla metodą odpowiedzi skokowej

Jak wiadomo metoda odpowiedzi skokowej daje dostateczną dokładność bez konieczności przeprowadzania długich analiz [7, 12]. Metody identyfikacji dynamiki obiektów oparte o pomiar charakterystyki skokowej należą do najprostszych, ale wymagają arbitralnego przyjęcia typu modelu dynamiki [12].

Ze względu na nieliniowość charakterystyk statycznych [1,2,4], przy stosowaniu tej metody dokonuje się linearyzacji przy przechodzeniu obiektu z jednego punktu pracy do drugiego na skutek skokowej zmiany sygnału wejściowego (natężenia odczynnika flotacyjnego). W oparciu o zarejestrowane dane dokonuje się obliczenia parametrów równania (5) dla obiektu o wejściu V_o i wyjściu A_o .

$$Y(k) = -\sum_{i=1}^n a_i \cdot Y(k-i) + \sum_{j=1}^m b_j \cdot U(k-j) \quad (5)$$

gdzie:

$U(k-j)$ – skokowa zmiana ilości odczynnika flotacyjnego $U(k-j) = u(k-j) - u(0)$,

Tabela 1

Wyznaczone parametry modeli dynamicznych procesu flotacji węgla

Lp.	Me- toda	Δu [l/h]	T_s [s]	Parametry równania różnicowego (5)		Parametry modelu ciągłego		Wariancja resztkowa		Wartości początkowe		Parametry nadawy		
				a_1	b_m	T [s]	τ [s]	Modele		y_0 [%]	u_0 [l/h]	$(Q_{n\text{ sr}} \pm \Delta Q_n)$ m^3/h	$(K_{cs\text{ sr}} \pm \Delta K_{cs})$ g/l	
								I rzędu z opóźn.	II rzędu					
1	IV	2	60	-0.9256	0.3540	776	360	2.46	0.63	70.4	12	235±2	218±1	(224±3)
	LS			-0.9159	0.3933	683	360	3.53	4.96					
2	IV	2	60	-0.9200	0.1546	720	240	0.90	6.63	82.0	10	204±2	218±1	(204±2)
	LS			-0.9046	0.1821	598	420	0.80	0.81					
3	IV	3.6	60	-0.7401	0.6207	199	180	0.87	1.42	49.7	3.6	525±2		(119±1)
	LS			-0.7029	0.6886	170	180	1.02	1.39					
4	IV	1.5	60	-0.8266	0.6228	315	420	0.82	3.93	56.1	6.6	533±2		(127±1)
	LS			-0.4573	1.5770	76.7	540	1.03	1.30					

IV – metoda zmiennej instrumentalnej, LS – metoda najmniejszych kwadratów, T – stała czasowa modelu inercyjnego pierwszego rzędu, τ – czas opóźnienia.

$Y(k-i)$ – zmiana zawartości popiołu w odpadach flotacyjnych $Y(k-i)=y(k-i)-y(0)$,
 $y(0)$, $u(0)$ – wartości początkowe sygnałów odpowiednio: wyjściowego i wejściowego w chwili $t(0)^{(-)}$ (przed rozpoczęciem doświadczenia identyfikacyjnego),
 $k = 1, 2, \dots, t/T_s$, T_s – okres próbkowania, t – czas.

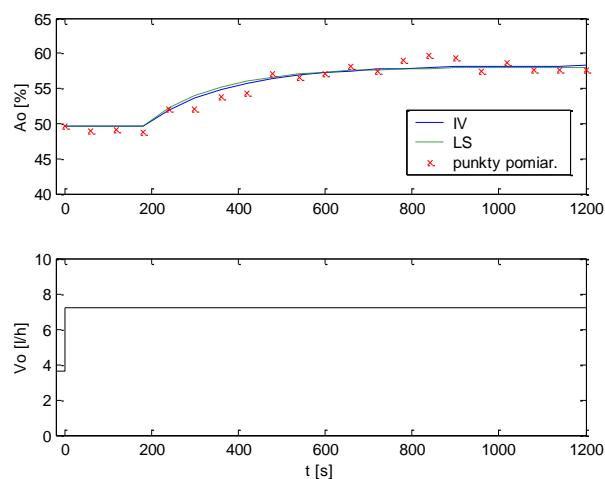
Wartości parametrów a_i oraz b_j równania (5) obliczono metodą zmiennej instrumentalnej. Uzyskane wyniki porównano z rezultatami obliczeń przeprowadzonych przy użyciu metody najmniejszych kwadratów [8,10,11]. Jako wskaźnik oceny dopasowania modelu do danych empirycznych przyjęto wariancję resztkową [8]. Dopasowanie obliczonego modelu dynamicznego do danych pomiarowych jest tym lepsze im wartość wariancji resztkowej jest mniejsza. Optymalnym modelem ze względu na przyjęte kryterium jest model, dla którego parametrów wyznaczona wariancja resztkowa przyjmuje najmniejszą wartość.

4. WYZNACZONE MODELE DYNAMICZNE

W przypadku identyfikacji modeli dynamicznych procesu flotacji węgla, zadanie badawcze ograniczono do wyznaczenia parametrów modeli metodą zmiennej instrumentalnej oraz metodą najmniejszych kwadratów i porównania uzyskanych wyników pod względem wartości przyjętego wskaźnika.

Wartości obliczonych parametrów modeli dynamicznych procesu flotacji węgla zostały zestawione w tabeli 1, a przykładowy przebieg charakterystyki

dynamicznej przedstawiono na rysunku 2. Jak pokazują wyniki, modele dynamiczne obliczone metodą zmiennej instrumentalnej wykazują lepsze lub zbliżone dopasowanie do danych empirycznych, w sensie przyjętego wskaźnika, w porównaniu do modeli wyznaczonych metodą najmniejszych kwadratów. Uprawnione jest również stwierdzenie, iż proces flotacji jako obiekt o jednym wejściu sterującym (natężeniem przepływu odczynnika flotacyjnego) i jednym wyjściu (zawartość popiołu w odpadach flotacyjnych) ma cechy modelu o strukturze elementu inercyjnego rzędu pierwszego z czasem opóźnienia [1,3,5].



Rys. 2. Przebieg odpowiedzi zawartości popiołu w odpadach flotacyjnych na skokową zmianę natężenia przepływu odczynnika flotacyjnego (tabela 1 – przykład 3)

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy porównawczej można stwierdzić, iż stosowanie metody zmiennej instrumentalnej do identyfikacji modeli dynamicznych obiektu flotacji węgla o jednym wejściu V_o i jednym wyjściu A_o , daje rezultaty lepsze lub porównywalne w odniesieniu do wyników uzyskiwanych metodą najmniejszych kwadratów. Jak pokazują wyniki obliczeń przeprowadzonych obiema metodami, lepsze dopasowanie do danych empirycznych, w sensie przyjętego wskaźnika wykazują modele o strukturze elementu inercyjnego pierwszego rzędu z czasem opóźnienia w porównaniu z modelami drugiego rzędu. Ze względu na swoje zalety metoda zmiennej instrumentalnej może być stosowana w zakresie identyfikacji procesu flotacji węgla dla celów sterowania.

Literatura

1. Cierpisz S., Joostberens J.: Simulation of fuzzy control of coal flotation, IFAC Workshop – MMM'2006, Automation in Mining, Mineral and Metal Industry, Proceedings of the IFAC Workshop, 20-22.09.2006, p. 210-214.

2. Cierpisz S., Gröbner L., Joostberens J.: Identyfikacja procesu flotacji węgla, X Konferencja APPK 2004, 02-04.06.2004, Szczyrk, str. 63-69.
3. Joostberens J.: Badania własności dynamicznych procesu flotacji węgla kamiennego jako obiektu sterowania, VIII Konferencja APPK 2002, 19-21.06.2006 r., Szczyrk, str. 103-112.
4. Joostberens J.: Wyniki badań identyfikacyjnych procesu flotacji węgla, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 286, Gliwice 2008, str. 275-284.
5. Joostberens J.: Zastosowanie sieci neuronowych do identyfikacji modeli dynamicznych procesu flotacji węgla, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2/445 2008 r., str. 25-28.
6. Kalinowski K.: Sterowanie procesu flotacji węgla, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1991.
7. Larminat P., Thomas Y.: Automatyka – układy liniowe, Identyfikacja, t. 2, Wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa 1983.
8. Niederliński A.: Systemy i sterowanie, PWN, Warszawa 1983.
9. Wajs W. (red.): Komputerowe metody i techniki w automatyce, Wydawnictwo AGH, Kraków 1991.
10. Zapala W.: Wybrane zagadnienia komputerowej identyfikacji i sterowania w kopalniach, Seminarium Elektryfikacji i Automatyzacji Kopalń, Skrypt Politechniki Śląskiej Nr 1861, Gliwice, 1994.
11. Zimmer A., Englot A.: Identyfikacja obiektów i sygnałów, Wydawnictwo PK, Kraków 2005.
12. Zuchowski A.: Wyznaczanie typu liniowego modelu dynamiki obiektu przy wykorzystaniu charakterystyki skokowej, Materiały XIV Krajowej Konferencji Automatyki, Zielona Góra, 24-27.06.2002, str. 401-406.

Recenzent: dr hab. inż. Roman Kaula

dr hab. inż. FRANCISZEK MARECKI

Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania

dr hab. inż. KRYSZTOF KALINOWSKI

Politechnika Śląska, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania

Informatyczny system wspomagania dyspozytora kopalni węgla kamiennego

W artykule przedstawiono koncepcję informatycznego systemu wspomagania dyspozytora brygady utrzymania ciągłości wydobywania w kopalni węgla kamiennego. Brygada usuwa awarie, które są zgłaszane do dyspozytora w losowych chwilach z losowych miejsc. Problem polega na sterowaniu operatywnym specjalistami, którzy powinni usuwać awarie tak, by zminimalizować straty wydobywania węgla. Rozwiązanie problemu wymaga opracowania systemu informatycznego wspomagającego dyspozytora. W systemie tym wykorzystuje się sztuczną inteligencję dla wyznaczenia specjalisty, który powinien usunąć awarię. Podstawą funkcjonowania takiego systemu dyspozytorskiego jest telekomunikacja pomiędzy dyspozytorem, specjalistami oraz zgłaszającymi awarie.

1. WSTĘP

Optymalizacja produkcji wymaga planowania oraz operatywnego sterowania. Do realizacji tych celów

wykorzystywane są systemy informatyczne [3,4,5, 15]. Planowanie wymaga zastosowania metod optymalizacji. Zaplanowana produkcja jest realizowana w warunkach zakłóceń losowych, dlatego wymaga sterowania operatywnego przez dyspozytorów. Dys-

pozytorzy podejmują decyzje w oparciu o swoje doświadczenie zawodowe (inteligencję naturalną). Do wspomagania dyspozytorów wykorzystywane są systemy informatyczne oparte na heurystycznych regułach decyzyjnych (inteligencji sztucznej).

W kopalniach węgla kamiennego (KWK) – dla utrzymania ciągłości wydobywania węgla – funkcjonuje specjalistyczna brygada (elektryków, ślusarzy, hydraulików, spawaczy itp.), która usuwa awarie. Dyspozytor tej brygady powinien wyznaczyć trasę i operacje, które powinien wykonać każdy specjalista, tak by awarie zostały usunięte jak najszybciej. Problem polega na tym, że awarie są zgłaszane w losowych chwilach z losowych miejsc KWK. Specjaliści usuwający awarie znajdują się w różnych punktach KWK. Czasy transportu i usuwania awarii nie są deterministyczne. Po usunięciu awarii specjalista melduje dyspozytorowi swoją gotowość (chwile i położenie) do wykonania następnego zdan. Dyspozytor przyjmuje zgłoszenia awarii i przydziela je dostępnym specjalistom. W tym sensie problem jest analogiczny jak kierowanie: ambulansami pogotowia ratunkowego, ekipami policji drogowej itp. [11,12].

Z teoretycznego punktu widzenia jest to problem kierowania przez dyspozytora wieloma agentami [7,8,9,10]. Dyspozytor podejmuje decyzje w oparciu o swoje doświadczenie zawodowe [7]. Doświadczenia zawodowe dyspozytorów (inteligencję naturalną) można przedstawić w postaci heurystycznych reguł decyzyjnych (inteligencji sztucznej) [4,11,12]. W tym celu trzeba opracować model kompleksu operacji i przeprowadzić badania symulacyjne [1, 2, 3]. Efektem tych badań jest tabela decyzyjna. Wiersze tej tabeli interpretują charakterystyczne stany kompleksu operacji. Kolumny są związane z heurystycznymi regułami decyzyjnymi. Elementami tablicy decyzyjnej są prawdopodobieństwa optymalnej decyzji (heurystyki) w danym stanie charakterystycznym. W informatycznym systemie wspomagania dyspozytora brygady utrzymania ciągłości wydobywania KWK dane o awariach i ich usuwaniu są dostarczane poprzez system telekomunikacyjny [6,13,14]. Zatem realizacja tego systemu jest zależna od technicznych możliwości komunikacji dyspozytora z specjalistami i osobami zgłaszającymi awarie. Rozwój technologii telekomunikacyjnych daje perspektywę rozwiązania tego problemu.

2. OPIS PROBLEMU

Informatyczny system dyspozytorski jest przeznaczony dla dyspozytorów w kopalniach węgla kamiennego (KWK), którzy kierują tzw. brygadami

utrzymania ciągłości wydobywania węgla. Podstawowym celem KWK jest wydobywanie węgla przy pomocy sprzętu technicznego oraz osób. Sprzęt techniczny wymaga cyklicznych konserwacji. Osoby wydobywające węgiel tworzą grupy, które pracują na 3 zmianach (diennej, popołudniowej i nocnej).

W procesie wydobywania węgla występują ciągłe zakłócenia losowe, związane z ingerencją maszyn i osób w strukturę górotworu. W związku z tym w losowych chwilach i w losowych miejscach rejestrowane są różne awarie. Awarie te można klasyfikować na: mechaniczne, hydrauliczne, elektryczne, itp. Awarie powodują przestoje w procesie wydobywania węgla – co wiąże się z określonymi stratami.

Operacje usuwania awarii oraz konserwacji maszyn są wykonywane przez specjalistów z brygad utrzymania ciągłości wydobywania węgla. W skład tych brygad wchodzi specjalista, którzy mają uprawnienia do wykonywania operacji: mechanicznych, spawalniczych, hydraulicznych, elektrycznych itp.

Klasyczny problem kierowania brygadą utrzymania ciągłości wydobywania węgla polega na takim usuwaniu awarii, by sumaryczne straty wydobywania węgla były minimalne. Po zakończeniu poprzedniej, a przed rozpoczęciem następnej zmiany roboczej dyspozytor otrzymuje informacje o awariach, które należy usunąć. Awarie te występują w różnych miejscach KWK – najczęściej na tzw. oddziałach wydobywczych (na tzw. ścianie). Ponadto mogą to być awarie różnego typu. Dyspozytor powinien skierować do usuwania każdej awarii uprawnionego specjalistę (lub specjalistów). Czas transportu specjalisty oraz czas usuwania awarii nie jest zdeterminowany – ale może być prognozowany. W ciągu zmiany roboczej specjalista – na ogół – zdąży usunąć więcej niż jedną awarię, w różnych miejscach KWK. Z tego względu dyspozytor powinien wyznaczyć każdemu specjalistcie najlepszą trasę – z bazy, poprzez punkty usuwania awarii do bazy – tak, by sumaryczne straty wydobywania węgla były minimalne.

Z teoretycznego punktu widzenia dyspozytor powinien rozwiązać tzw. problem wielu komiwojażerów. Wyznaczenie rozwiązania optymalnego – nawet na szybkim komputerze – nie jest możliwe, ponieważ jest to tzw. problem NP. zupełny w sensie złożoności obliczeniowej. Problem wielu komiwojażerów komplikuje się dodatkowo ponieważ – jak zaznaczono wyżej – nie są dane deterministyczne czasy transportu i usuwania awarii. Ponadto jest to problem Polioptymalizacji, ponieważ poza minimalizacją strat wydobywania węgla należy minimalizować:

- czas usuwania wszystkich awarii,
- czas pracy specjalistów w tzw. „nadgodzinach”,
- sumaryczny czas transportu specjalistów,
- inne specyficzne kryteria.

Informatyczny system dyspozytorski rozwiązuje sformułowany wyżej problem. W szczególności w systemie tym wykorzystane są metody sztucznej inteligencji do kierowania brygadą specjalistów usuwających awarie. Ponadto w systemie tym dyspozytor rejestruje awarie w czasie rzeczywistym (a nie po zakończeniu zmiany roboczej – w raporcie). Na tej podstawie dyspozytor kieruje specjalistami w czasie rzeczywistym. Specjalista melduje dyspozytorowi o wykonaniu pewnej operacji, a dyspozytor przydziela mu do wykonania kolejną operację. Taki informatyczny system dyspozytorski jest bardziej efektywny niż klasyczny, ponieważ:

- awarie są rejestrowane w czasie rzeczywistym,
- dyspozytor kieruje specjalistami w czasie rzeczywistym,
- prognoza terminów transportu i usuwania awarii jest dokładniejsza,
- w trakcie zmiany roboczej można zmieniać priorytety kryteriów optymalizacji.

Rozwiązanie sformułowanego problemu wymaga zastosowania nowoczesnego sprzętu informatycznego oraz metod logistycznych.

3. ZADANIA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO

Opracowanie informatycznego systemu dyspozytorskiego wymaga wykonania: specyfikacji, projektu, oprogramowania i testowania. Dla etapów tych można sformułować następujące tezy:

1. Specyfikacja systemu może być oparta na logistyce. W specyfikacji wyróżnia się:
 - zbiory: awarii, oddziałów oraz specjalistów,
 - relacje logiczne między elementami tych zbiorów,
 - prognozy czasów transportu i usuwania awarii,
 - priorytety awarii,
 - kryteria optymalizacji wraz z ich parametrami.
2. Projekt systemu uwzględnia sprzęt i oprogramowanie systemu. Dla rejestracji awarii on-line oraz przekazywaniu decyzji dyspozytora on-line potrzebny jest system telekomunikacyjny. Ponadto dla wyznaczania optymalnych decyzji potrzebny jest system obliczeniowy (komputerowy). Oprogramowanie systemu wyróżnia moduły:
 - ewidencji,
 - optymalizacji,
 - raportów
 - archiwizacji.
3. Oprogramowanie systemu powinno być wykonane w technologiach sieciowych (internetowych) z interfejsami graficznymi i głosowymi. Informatyczny system dyspozytorski powinien wspomagać dyspozytora

– tzn. zastępować go w sytuacjach przewidzianych w modelu lecz pozwalać mu na wprowadzanie swoich decyzji. Ewidencja awarii oraz kierowanie specjalistami powinna być możliwa za pomocą interfejsów graficznych (wybieranie z menu) oraz głosowych (rozmowa dyspozytora z specjalistą lub automatyczne przekazywanie poleceń specjalistom).

4. Testowanie systemu wymaga opracowania symulatorów. Przy pomocy symulacji cyfrowej można zbadać efektywność systemu dla pseudolosowych (wygenerowanych przez komputer) danych. W szczególności stosowanie sztucznej inteligencji wymaga przeprowadzenia badań symulacyjnych (wg zaplanowanych eksperymentów) dla wyznaczenia efektywności heurystycznych reguł decyzyjnych – w różnych stanach KWK. Podstawą informatycznego systemu dyspozytorskiego opartego na sztucznej inteligencji jest tabela decyzyjna. Wiersze tej tabeli odpowiadają tzw. stanom charakterystycznym KWK. Kolumny tabeli decyzyjnej odpowiadają regułom heurystycznym. Elementami tablicy decyzyjnej są preferencje reguł heurystycznych w różnych stanach charakterystycznych KWK.

Istotne znaczenie ma proces wdrażania informatycznego systemu dyspozytorskiego.

4. KONCEPCJA ROZWIĄZANIA PROBLEMU

Koncepcja rozwiązania problemu kierowania brygadą specjalistów utrzymujących ciągłość wydobywania węgla w KWK zostanie przedstawiono dla wyspecyfikowanego modelu.

Założmy, że dane są zbiory:

1. Zbiór typów specjalizacji o numerach : 1, ..., k, ..., K.
2. Zbiór specjalistów o numerach: 1, ..., l, ..., L.
3. Zbiór oddziałów wydobywczych o numerach: 1, ..., m, ..., M.
4. Zbiór awarii o numerach: n=1, ..., n, ..., N.

Założmy, że dane są relacje pomiędzy zbiorami:

1. Relacja określająca uprawnienia specjalistów
 $A = [a_{k,l}]$
 przy czym:
 $a_{k,l} = 1$, jeśli l-ty specjalista ma uprawnienia do k-tej specjalizacji,
 $a_{k,l} = 0$, w przeciwnym przypadku.
2. Relacja lokalizacji awarii na oddziałach
 $B = [b_{m,n}]$
 przy czym:
 $b_{m,n} = 1$ jeśli n-ta awaria wystąpiła na m-tym oddziale wydobywczym,
 $b_{m,n} = 0$ w przeciwnym przypadku.

3. Relacja określająca alternatywne przyporządkowanie specjalisty do oddziału

$$C = [c_{l,m}]$$

przy czym:

$c_{l,m} = 1$ jeśli l -ty specjalista może usuwać awarie na m -tym oddziale,

$c_{l,m} = 0$ w przypadku przeciwnym.

4. Relacja określająca alternatywne przyporządkowanie specjalisty do awarii

$$D = [d_{l,n}]$$

przy czym:

$d_{l,n} = 1$ jeśli l -ty specjalista może usuwać n -tą awarię,

$d_{l,n} = 0$ w przypadku przeciwnym.

Założmy, że dane są parametry czasowe:

1. Wektor prognozowanych czasów usuwania awarii
 $v_n \quad n = 1, \dots, N$

2. Macierz prognozowanych czasów transportu specjalistów

$$\tau_{j,m} \quad j = 0, 1, \dots, M \text{ oraz } m = 0, 1, \dots, M$$

gdzie: 0 – położenie bazy grupy specjalistów usuwających awarie.

3. Wektor najwcześniejszych terminów rozpoczęcia usuwania awarii

$$\varphi_n \quad n = 1, \dots, N$$

4. Wektor najpóźniejszych terminów zakończenia usuwania awarii

$$\psi_n \quad n = 1, \dots, N$$

5. Wektor najwcześniejszych terminów dostępności specjalistów

$$r_l \quad l = 1, \dots, L$$

6. Wektor najpóźniejszych terminów dostępności specjalistów

$$z_n \quad n = 1, \dots, N$$

Założmy, że dane są dodatkowe parametry systemu

1. Wektor strat wydobycia węgla w jednostce czasu

$$q_m \quad m = 1, \dots, M$$

2. Wektor priorytetów awarii

$$p_n \quad n = 1, \dots, N$$

Wektor początkowego położenia specjalistów

$$s_l \quad l = 1, \dots, L$$

3. Wektor końcowego położenia specjalistów

$$w_l \quad l = 1, \dots, L$$

W przypadku wielu kryteriów danych jest wiele wektorów parametrów kryterialnych.

Przy powyższych założeniach można zdefiniować stan systemu w postaci macierzy X o dwóch kolumnach oraz N wierszach.

$x_{n,1} = l$ jeśli n -ta awaria została przydzielona do usunięcia l -temu specjalistcie,

$x_{n,2} = t_n$ jeśli n -ta awaria została usunięta w terminie t_n .

Z macierzy X można wyznaczyć:

1. Aktualne lokalizacje specjalistów.

2. Aktualne wartości wskaźników kryterialnych (np. strat wydobycia węgla).

Stan X musi wyrażać dopuszczalną realizację operacji transportu i usuwania awarii tzn.:

1. n -ta awaria jest usuwana w przedziale czasu: od φ_n do $\psi_n \quad n = 1, \dots, N$

2. l -ty specjalista pracuje w przedziale czasu: od r_l do $z_l \quad l = 1, \dots, L$

Stan początkowy X^0 jest daną macierzą o zerowych elementach. Rozwiązanie problemu polega na wygenerowaniu trajektorii stanów:

$$X^0 \rightarrow X^1 \rightarrow \dots \rightarrow X^{e-1} \rightarrow X^e \rightarrow \dots, X^E$$

gdzie:

- górny indeks e jest numerem stanu na trajektorii,
- E jest liczbą stanów na trajektorii.

Stan końcowy X^E reprezentuje dopuszczalne rozwiązanie problemu.

Istota metody rozwiązania problemu (metody programowania wieloetapowego) polega na wyznaczeniu następnego stanu X^e na podstawie danego poprzedniego stanu X^{e-1} oraz wyborze n -tej awarii i l -tego specjalisty. Stany są generowane metodą sztucznej inteligencji na podstawie wybranej reguły heurystycznej. Wykorzystywane są – między innymi – następujące reguły heurystyczne:

- wybór awarii o najwyższym priorytecie,
- wybór awarii najwcześniej zgłoszonej,
- wybór awarii najbliższej położonej,
- wybór awarii powodującej największe straty jednostkowe (q_n),
- wybór specjalisty o najwyższych kwalifikacjach,
- wybór specjalisty najbliższego położonego,
- wybór specjalisty najmniej obciążonego.

Ponadto reguły heurystyczne uwzględniają wskaźniki innych kryteriów optymalizacji.

5. ZASTOSOWANIA

5.1. Zastosowania komercyjne

Informatyczny system dyspozytorski opracowany zgodnie z powyższymi zasadami może być wdrożony w każdej KWK. Ponadto system taki może być wdrożony w innych zakładach, których profil produkcji wymaga usuwania awarii. Analogiczny system dyspozytorski może być wykorzystany do kierowania karetkami pogotowia ratunkowego, ekip policji drogowej itp. instytucji. Również w takich przypadkach dyspozytor rejestruje wezwania do obsługi zdarzeń różnego typu – w losowych chwilach z losowych miejsc. Zdarzenia te są obsługiwane przez specjalistyczne ekipy (np. o specjalistycznym wyposażeniu). Problem polega na wspomaganie dyspozytora przy podejmowaniu decyzji

o wysłaniu ekipy do obsługi wezwania. Jednakże kryteria oceny jakości funkcjonowania takiego systemu są specyficzne dla danego zastosowania.

5.2. Zastosowania edukacyjne

System może być wykorzystany w celach edukacyjnych w szkołach górniczych z symulatora komputerowego, który generuje losowo awarie, tzn. w losowych chwilach, miejscach. Ponadto w symulatorze takim można deklorować strukturę KWK oraz zbiory specjalistów z wszystkimi parametrami. Dyspozytor (użytkownik symulatora) podejmuje decyzje o skierowaniu specjalisty do obsługi operacji. W symulatorze naliczane są wskaźniki różnych kryteriów (minimalizacji: strat wydobycia węgla, czasu pracy w godzinach nadliczbowych i innych), na podstawie których oceniany jest dyspozytor.

Symulacja może być wielokrotnie powtarzana dla różnych danych wygenerowanych losowo. Pozwala to ocenić dyspozytora w różnych sytuacjach praktycznych. Ponadto użytkownik symulatora komputerowego może w krótkim czasie nabyć wiedzę o efektywnym kierowaniu brygadą specjalistów w KWK o założonej strukturze. W szczególności kandydat na dyspozytora może szybko zdobyć doświadczenie w postaci heurystyk, czyli reguł efektywnego postępowania w różnych sytuacjach KWK.

Symulator komputerowy umożliwia także generowanie losowych danych – z powtórzeniami. Pozwala to użytkownikowi/dyspozytorowi sprawdzenie efektów stosowania różnych heurystyk w tych samych sytuacjach w KWK. Ponadto opcja taka pozwala testować kandydatów na dyspozytorów w identycznych warunkach awarii w KWK.

Symulator komputerowy wspomaganie dyspozytora KWK umożliwia także wprowadzanie danych z klawiatury, które interpretują określoną sytuację awaryjną. W ten sposób można sprawdzać różne sytuacje awaryjne i konsekwencje różnych decyzji dyspozytora na te sytuacje.

6. UWAGI I WNIOSKI

Problem sterowania operatywnego specjalistami usuwającymi awarie w KWK ma istotne znaczenie dla utrzymania ciągłości wydobycia. Dyspozytor, specjaliści oraz zgłaszane awarie znajdują się w różnych miejscach KWK. Ponadto awarie występują w losowych chwilach.

Istota problemu polega na przydzielaniu specjalistom awarii, które powinni usunąć. Z teoretycznego punktu widzenia jest to problem przyporządkowywania zbioru specjalistów do awarii. Realizacja zadań

polega na wykonywaniu operacji transportu specjalistów do miejsc awarii oraz wykonywaniu operacji usuwania awarii. W takim kompleksie występują ograniczenia: logiczne, czasowe i przestrzenne operacji. Jest to zatem problem logistyczny.

Z technicznego punktu widzenia informatyczny system wspomaganie dyspozytora KWK składa się z komputera (wykonującego obliczenia) oraz systemu telekomunikacyjnego. System telekomunikacyjny musi zapewnić skuteczne połączenie dyspozytora z specjalistami oraz osobami, które zgłaszają awarie. Zatem powinien to być system mobilny, który umożliwia kontakt w dowolnej chwili z dowolnego miejsca.

W warunkach KWK system bezprzewodowy GSM nie jest możliwy (z uwagi na zasięg). Jednakże przez analogie do sieci komputerowych – przewodowych i bezprzewodowych – można zbudować hybrydową sieć telekomunikacyjną w KWK. W istniejących sieciach przewodowych można wbudować urządzenia dostępne dla telefonii bezprzewodowej (mobilnej). Daje to perspektywę realizacji informatycznego systemu wspomaganie dyspozytora KWK.

Literatura

1. *Bucki R., Marecki F.*: Modelling and Simulation, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA, 2005 (ISBN 83-89105-94-2).
2. *Bucki R., Marecki F.*: Digital Simulation of Discrete Processes, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA, 2006 (ISBN 0-9788606-8-3).
3. *Bucki R.*: Thorough Analysis of the Technological Case Control, Management & Informatics, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, 2007 (ISSN 1939-4187).
4. *Bucki R., Marecki F.* (red.): Systemy informatyczne, WSIZ, Bielsko-Biała, 2009 (ISBN 9788360716533).
5. *Cierpisz S., Kalinowski K., Kaula R., Pielot J.*: Sterowanie i optymalizacja produkcji grupy zakładów przeróbki węgla, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2006 (ISBN 83-7335-351-8).
6. *Kalinowski K., Kalinowska E.*: Transmisja sygnałów, WSIZ, Bielsko-Biała, 2010 (ISBN 9788360716557).
7. *Marecki J.*: Semantic Networks and Intelligence Agents, Network Integrates Associates, Parkland, Florida, USA, 2003 (ISBN 83-89105-50-0).
8. *Marecki J.*: Planning with Continuous Resources in Single/Multiagent Systems, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA, 2006 (ISBN 0-9788606-9-1).
9. *Marecki J.*: Scheduling with Continuous Resources in Agent Systems, University of Southern California, Los Angeles, 2008 (ISBN 0-97-978-8606-5-9).
10. *Marecki J.*: Allocation of Continuous Resources in Agent Systems, VDM Verlag Dr Mueller, Saarbrücken, 2009 (ISBN 978-3-639-13177-2).
11. *Marecki J., Marecki F.*: Logistyka informatyczna – obsługa statków w porcie, WSIZ, Bielsko-Biała, 2007 (ISBN 9788360716540).
12. *Marecki J., Łużny D., Marecki F.*: Logistyka informatyczna kompleksów operacji, WSIZ, Bielsko-Biała, 2010 (ISBN 978-83-62466-00-9).
13. *Simon A.*: Mobile Cellular Systems, WSIZ, Bielsko-Biała, 2004 (ISBN 83-89105-61-6).
14. *Simon A.*: Mobile Information and Communication Systems, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA, 2007 (ISBN 0-9788606-2-4).
15. *Wojtas P.*: Wpływ integracji systemów dyspozytorskich i konfiguracji sieci telekomunikacyjnych na ich niezawodność i funkcjonalność, Praca doktorska wykonana w Politechnice Śląskiej, Gliwice, 2010.