

EDYTA BRZYCHCZY*

Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 3. Model matematyczny

Słowa kluczowe

Modelowanie, optymalizacja, roboty górnicze, sieci stochastyczne, sieci GAN, metoda GERT

Streszczenie

W artykule zaprezentowano model matematyczny opracowany dla metody modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Metoda może stanowić narzędzie wspomagające proces projektowania przyszłych robót górniczych z uwzględnieniem wymagań decydenta w sferze poziomu wyników produkcyjnych oraz ekonomiczno-finansowych.

Wprowadzenie

W trzeciej części cyklu artykułów poświęconych metodzie modelowania i optymalizacji robót górniczych z wykorzystaniem sieci stochastycznych (Brzychczy 2006a, b) przybliżono opracowany w niej model matematyczny. Dla zdefiniowanych obiektów przestrzennych i technicznych oraz ciągów produkcyjnych, a przede wszystkim robót górniczych, wyprobowano odpowiednie zależności matematyczne umożliwiające przeprowadzenie obliczeń na sieci stochastycznej.

Dla każdego ciągu produkcyjnego na podstawie założeń i definicji zapisanych w części pierwszej artykułu można wyprowadzić zależności pomiędzy charakterystykami robót gór-

* Dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

nicznych. Po obliczeniach wykonanych na sieci stochastycznej wybór najlepszego rozwiązania odbywa się według przyjętej procedury optymalizacyjnej.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyprowadzone zależności matematyczne dla opracowanej metody.

1. Model matematyczny opracowanej metody

Na potrzeby metody wydzielono następujące roboty górnicze:

- roboty przygotowawcze (RP),
- drążenie przecinki (RO),
- prace zbrojeniowe (ZB),
- roboty eksploatacyjne (E),
- prace likwidacyjne (LIK),

oraz:

- roboty udostępniające (RU).

Każdy typ robót charakteryzują następujące elementy:

- obiekt przestrzenny którego dotyczą,
- wyposażenie obiektu przestrzennego w obiekty techniczne,
- data początku robót (DP),
- czas trwania robót (t) w dniach roboczych [d],
- data zakończenia robót (DK),
- postęp robót (Pos) w [m/d] lub czas ich trwania (T) w [d],
- koszt wykonania robót ($Koszt$) [zł/d],
- wielkość wydobycia brutto/netto dla robót związanych z drążeniem wyrobisk korytarzowych lub eksploatacją ściany ($Wdeb/Wden$) w [Mg/d],
- wartość jednostkowa (przewidywana cena) węgla pochodzącego z wydobycia w danym wyrobisku (JWW) w [zł/Mg] (obliczana według odpowiedniej formuły cenowej).

Stąd też w podrozdziałach 1.1 i 1.2 zostaną podane zależności wyprowadzone dla podanych charakterystyk każdego rodzaju robót górniczych.

1.1. Zależności matematyczne dla robót górniczych prowadzonych w j -tym obiekcie ścianowym w i -tym ciągu produkcyjnym

Charakterystyki robót przygotowawczych dla j -tego obiektu ścianowego w i -tym ciągu produkcyjnym z uwzględnieniem wariantu stanu robót przygotowawczych w chodnikach przyścianowych oraz wariantu kolejności wykonywania chodników zestawiono w tabelach 1 i 2.

Wariant stanu robót przygotowawczych w chodniku $sprn(p)$ przyjmuje następujące wartości:

- 0 — gdy chodnik jest wykonany,
- 1 — gdy chodnik jest do wykonania.

Wariant kolejności drążenia chodników $srpkn(p)$ przyjmuje następujące wartości:

0 — gdy chodnik jest wykonany,

1 — gdy chodnik jest do wykonania jako pierwszy w kolejności,

2 — gdy chodnik jest do wykonania jako drugi w kolejności.

Jako DS_{ij} wprowadzono datę rozpoczęcia robót górniczych w i -tym ciągu produkcyjnym.

TABELA 1

Charakterystyki robót przygotowawczych j -tego obiektu ścianowego

TABLE 1

Characteristics of preparatory works in j -tem longwall object

Wariant Charakt.	$srpn_{ij} = 0$ $\wedge srpp_{ij} = 0$	$srpn_{ij} = 1 \vee srpp_{ij} = 1$
$DPRP_{ij} =$	DS_{ij}	DS_{ij}
$tRP_{ij} =$	0	$\frac{xchn_{ij41}}{PosRPn_{ij}} \vee \frac{xchp_{ij41}}{PosRP_{ij}}$
$DKRP_{ij} =$	$DPRP_{ij} + tRP_{ij}$	$DPRP_{ij} + tRP_{ij}$
$PosRP_{ij} =$	0	$pos_pn \vee pos_pp$
$KosztRP_{ij} =$	0	$f(PosRPn_{ij}) \vee f(PosRP_{ij})$
$WdebRP_{ij} =$	0	$xchn_{ij21} \cdot xchn_{ij43} \cdot pos_pn$ $\vee xchp_{ij21} \cdot xchp_{ij43} \cdot pos_pp$
$WdenRP_{ij} =$	0	$WdebRPn_{ij} \cdot (100 - xchn_{ij7}) \cdot xd_1$ $\vee WdebRP_{ij} \cdot (100 - xchp_{ij7}) \cdot xd_1$
$JWWRP_{ij} =$	0	$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xchn_{ij8}}{25120,8} - \frac{xchn_{ij9} - 1}{10} - \frac{xchn_{ij10} - 12}{100} \right)$ \vee $0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xchp_{ij8}}{25120,8} - \frac{xchp_{ij9} - 1}{10} - \frac{xchp_{ij10} - 12}{100} \right)$

gdzie:

$xchn(p)_{ij7}$ — udział kamienia w przekroju wyrobiska [%],

$xchn(p)_{ij8}$ — wartość opałowa węgla [kJ/kg],

$xchn(p)_{ij9}$ — zasiarczenie węgla [%],

$xchn(p)_{ij10}$ — zapozielenie węgla [%],

$xchn(p)_{ij21}$ — ciężar objętościowy węgla [Mg/m³],

$xchn(p)_{ij41}$ — wybieg całkowity wyrobiska [m],

$xchn(p)_{ij43}$ — przekrój w wylomie wyrobiska [m²],

xd_1 — współczynnik strat eksploatacyjnych i przeróbczych,

xd_2 — cena węgla wskaźnikowego [zł/Mg],

pos_p — wylosowana wartość postępu.

Charakterystyki robót przygotowawczych j -tego obiektu ścianowego cd.Characteristics of preparatory works in j -tem longwall object

Charakt. \ Wariant		$srpn_{ij} = 1 \wedge srpp_{ij} = 1$ $srpkn_{ij} = 1 \wedge srpkp_{ij} = 1$	$srpn_{ij} = 1 \vee srpp_{ij} = 1$ $srpkn_{ij} = 1 \vee srpkp_{ij} = 2$
		DS_{ij}	DS_{ij}
$DPRP_{ij} =$		DS_{ij}	DS_{ij}
$tRP_{ij} =$		$\max\{tRPn_{ij}, tRPp_{ij}\}$	$tRPn_{ij} + tRPp_{ij}$
$tRPn_{ij} =$		$\frac{xchn_{ij41}}{PosRPn_{ij}}$	
$tRPp_{ij} =$		$\frac{xchp_{ij41}}{PosRPp_{ij}}$	
$DKRP_{ij} =$		$DPRP_{ij} + tRP_{ij}$	
$PosRP_{ij}$	$PosRPn_{ij} =$	pos_pn	
	$PosRPp_{ij} =$	pos_pp	
$KosztRPn_{ij} =$		$f(PosRPn_{ij})$	
$KosztRPp_{ij} =$		$f(PosRPp_{ij})$	
$KosztRP_{ij} =$		$KosztRPn_{ij} + KosztRPp_{ij}$	
$WdebRPn_{ij} =$		$xchn_{ij21} \cdot xchn_{ij43} \cdot pos_pn$	
$WdebRPp_{ij} =$		$xchp_{ij21} \cdot xchp_{ij43} \cdot pos_pp$	
$WdebRP_{ij} =$		$WdebRPn_{ij} + WdebRPp_{ij}$	
$WdenRPn_{ij} =$		$WdebRPn_{ij} \cdot (100 - xchn_{ij7}) \cdot xd_1$	
$WdenRPp_{ij} =$		$WdebRPp_{ij} \cdot (100 - xchp_{ij7}) \cdot xd_1$	
$WdenRP_{ij} =$		$WdenRPn_{ij} + WdenRPp_{ij}$	
$JWWRPn_{ij} =$		$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xchn_{ij8}}{25120,8} - \frac{xchn_{ij9} - 1}{10} - \frac{xchn_{ij10} - 12}{100} \right)$	
$JWWRPp_{ij} =$		$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xchp_{ij8}}{25120,8} - \frac{xchp_{ij9} - 1}{10} - \frac{xchp_{ij10} - 12}{100} \right)$	

Charakterystyki drążenia przecinki ściany j -tego obiektu ścianowego w i -tym ciągu produkcyjnym z uwzględnieniem wariantu jej drążenia zestawiono w tabelach 3 i 4. Wariant drążenia przecinki ścianowej $sprz$ może przyjmować następujące wartości:

- 0 — gdy przecinka jest wykonana,
- 1 — gdy przecinka jest do wykonania w jednym kierunku,
- 2 — gdy przecinka jest do wykonania na zbiecie.

Charakterystyki dla prac zbrojeniowych ściany j -tego obiektu ścianowego w i -tym ciągu produkcyjnym zestawiono w tabeli 5. W tabeli tej uwzględniono również wariant zbrojenia danej ściany, dla którego przyjęto nadawać następujące wartości:

- 0 — gdy ściana będzie zazbrojona zestawem pracującym na poprzedniej ścianie w ciągu produkcyjnym,
- 1 — gdy ściana będzie zazbrojona innym zestawem.

Charakterystyki dla robót eksploatacyjnych prowadzonych w ścianie j -tego obiektu ścianowego w i -tym ciągu produkcyjnym zestawiono w tabeli 6. Jeżeli roboty eksploatacyjne w ścianie prowadzone są różnymi technologiami i można wyróżnić wybieg ścian

TABELA 3

Charakterystyki drążenia przecinki ściany j -tego obiektu ścianowego

TABLE 3

Characteristics of cross-cutting works in j -em longwall object

Wariant Charakt.	$sprz_{ij} = 0$	$sprz_{ij} = 1$
$DPRO_{ij} =$	$DKRP_{ij}$	$DKRP_{ij}$
$tRO_{ij} =$	0	$\frac{xch_{ij41}}{PosRO_{ij}}$
$DKRO_{ij} =$	$DPRO_{ij} + tRO_{ij}$	$DPRO_{ij} + tRO_{ij}$
$PosRO_{ij} =$	0	pos_r
$KosztRO_{ij} =$	0	$f(PosRO_{ij})$
$WdebRO_{ij} =$	0	$xch_{ij21} \cdot xch_{ij43} \cdot pos_r$
$WdenRO_{ij} =$	0	$WdebRP_{ij} \cdot (100 - xch_{ij7}) \cdot xd_1$
$JWWRO_{ij} =$	0	$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xch_{ij8}}{25120,8} - \frac{xch_{ij9} - 1}{10} - \frac{xch_{ij10} - 12}{100} \right)$

gdzie:

pos_r — wylosowana wartość postępu.

TABELA 4

Charakterystyki drażenia przecinki ściany j -tego obiektu ścianowego cd.

TABLE 4

Characteristics of cross-cutting works in j -tem longwall object

Wariant		$srprz_{ij} = 2$
Charakt.		
$DPRO_{ij} =$		$DKRP_{ij}$
$tRO_{ij} =$		$\frac{xch_{ij41}}{PosRO_{ij1} + PosRO_{ij2}}$
$DKRO_{ij} =$		$DPRO_{ij} + tRO_{ij}$
$PosRO_{ij}$	$PosRO_{ij1} =$	pos_r_1
	$PosRO_{ij2} =$	pos_r_2
$KosztRO_{ij} =$		$f(PosRO_{ij1}) + f(PosRO_{ij2})$
$WdebRO_{ij} =$		$xch_{ij21} \cdot xch_{ij43} \cdot pos_r_1 + xch_{ij21} \cdot xch_{ij43} \cdot pos_r_2$
$WdenRO_{ij} =$		$WdebRP_{ij} \cdot (100 - xch_{ij7}) \cdot xd_1 + WdebRP_{ij} \cdot (100 - xch_{ij7}) \cdot xd_1$
$JWWRO_{ij} =$		$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xch_{ij8}}{25120,8} - \frac{xch_{ij9} - 1}{10} - \frac{xch_{ij10} - 12}{100} \right)$

gdzie:

 $pos_r_1; pos_r_2$ — wylosowana wartość postępu

TABELA 5

Charakterystyki dla prac zbrojeniowych ściany j -tego obiektu ścianowego

TABLE 5

Characteristics of equipment works in j -tem longwall object

Wariant		$szb_{ij} = 1$	$szb_{ij} = 0$
Charakt.			
$DPZB_{ij} =$		$DKRO_{ij}$	Przyjęto, że jeżeli dla $OS_{ij}, j = 1$ to istnieje tylko możliwość zbrojenia określona jako $szb_{ij} = 1$
$tZB_{ij} =$		tzb	
$DKZB_{ij} =$		$DPZB_{ij} + tZB_{ij}$	
$TZB_{ij} =$		tzb	
$KosztZB_{ij} =$		$f(xs_{ij42})$	

gdzie:

 tzb — czas trwania prac zbrojeniowych.

TABELA 6

Charakterystyki dla robót eksploatacyjnych w ścianie j -tego obiektu ścianowego

TABLE 6

Characteristics of exploitation works in j -tem longwall object

Charakterystyki	Wartość
$DPE_{ij} =$	$DKZB_{ij}$
$tE(1)_{ij} =$	$\frac{xs(1)_{ij43}}{PosE(1)_{ij}}$
$tE(2)_{ij} =$	$\frac{xs(2)_{ij43}}{PosE(2)_{ij}}$
$DKE(1)_{ij} =$	$DPE_{ij} + tE(1)_{ij}$
$DPE(2)_{ij} =$	$DKE(1)_{ij}$
$DKE_{ij} =$	$DPE(2)_{ij} + tE(2)_{ij}$
$PosE(1)_{ij} =$	$pos_s(1)$
$PosE(2)_{ij} =$	$pos_s(2)$
$KosztE(1)_{ij} =$	$f(PosE(1)_{ij})$
$0KosztE(2)_{ij} =$	$f(PosE(2)_{ij})$
$WdebE(1)_{ij} =$	$xs_{ij21} \cdot xs_{ij41} \cdot xs_{ij42} \cdot pos_s(1)$
$WdebE(2)_{ij} =$	$xs_{ij21} \cdot xs_{ij41} \cdot xs_{ij42} \cdot pos_s(2)$
$WdenE(1)_{ij} =$	$WdebE(1)_{ij} (100 - xs_{ij6}) \cdot xd_1$
$WdenE(2)_{ij} =$	$WdebE(2)_{ij} (100 - xs_{ij6}) \cdot xd_1$
$JWWE_{ij} =$	$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xs_{ij7}}{25120,8} - \frac{xs_{ij8} - 1}{10} - \frac{xs_{ij9} - 12}{100} \right)$

($xs(1)_{ij43}$, $xs(2)_{ij43}$), na których są one prowadzone, wtedy wprowadza się czynności składowe. Przyjmując następujące oznaczenia:

- xs_{ij6} — udział przerostów [%],
- xs_{ij7} — wartość opałowa węgla [kJ/kg],
- xs_{ij8} — zasiarczenie węgla [%],
- xs_{ij9} — zapozielenie węgla [%],
- xs_{ij21} — ciężar objętościowy węgla [Mg/m^3],
- xs_{ij41} — wysokość ściany [m],
- xs_{ij42} — długość ściany [m],
- xs_{ij43} — wybieg ściany [m],
- xd_1 — współczynnik strat eksploatacyjnych i przerobczych,

xd_2 — cena węgla wskaźnikowego [zł/Mg],

pos_s — wylosowana wartość postępu.

wyprowadzono podane w tabeli 6 odpowiednie zależności.

Charakterystyki dla prac likwidacyjnych ściany j -tego obiektu ścianowego w i -tym ciągu produkcyjnym zestawiono w tabeli 7.

TABELA 7

Charakterystyki dla prac likwidacyjnych ściany j -tego obiektu ścianowego

TABLE 7

Characteristics of disposal works in j -tem longwall object

Charakterystyki	Wartości
$DPLIK_{ij} =$	DKE_{ij}
$tLIK_{ij} =$	$tlik$
$DKLIK_{ij} =$	$DPLIK_{ij} + tLIK_{ij}$
$TLIK_{ij} =$	$tlik$
$KosztLIK_{ij} =$	$f(xs_{ij42})$

gdzie:

$tlik$ — czas trwania prac likwidacyjnych.

1.2. Zależności matematyczne dla robót górniczych prowadzonych w kolejnym obiekcie ścianowym w i -tym ciągu produkcyjnym

Dla robót górniczych prowadzonych w kolejnych obiektach ścianowych i -tego ciągu produkcyjnego istotnie zmienia się sposób obliczania daty początku i zakończenia danej

TABELA 8

Charakterystyki robót przygotowawczych w kolejnym obiekcie ścianowym

TABLE 8

Characteristics of preparatory works in next longwall object

Wariant Charakt.	$srpn_{ij} = 0 \wedge srpp_{ij} = 0$	$srpn_{ij} = 1 \vee srpp_{ij} = 1$
$DPRP_{ij} =$	$DKRP_{ij} - tRP_{ij}$	$DKRP_{ij} \cdot tRP_{ij}$
$tRP_{ij} =$	0	$\frac{xchn_{ij41}}{PosRPn_{ij}} \vee \frac{xchp_{ij41}}{PosRPp_{ij}}$
$DKRP_{ij} =$	$DPRO_{ij}$	$DPRO_{ij}$

Pozostałe charakterystyki obliczane wg tabeli 1.

roboty, pozostałe charakterystyki oblicza się według odpowiednich tabel 1—7, stąd też w następnych tabelach wyróżniono tylko zmiany w formułach obliczeniowych.

Charakterystyki robót przygotowawczych ściany kolejnego obiektu ścianowego i -tego ciągu produkcyjnego zestawiono w tabelach 8 i 9.

Charakterystyki dla robót eksploatacyjnych i likwidacyjnych prowadzonych w kolejnej ścianie w i -tym ciągu produkcyjnym oblicza się według tabel 6 i 7.

Charakterystyki drążenia przecinki ściany kolejnego obiektu ścianowego i -tego ciągu produkcyjnego zestawiono w tabelach 10 i 11.

TABELA 9

Charakterystyki robót przygotowawczych w kolejnym obiekcie ścianowym cd.

TABLE 9

Characteristics of preparatory works in next longwall object

Charakt. \ Wariant	$srpn_{ij} = 1 \wedge srpp_{ij} = 1$ $srpkn_{ij} = 1 \wedge srpkp_{ij} = 1$	$srpn_{ij} = 1 \wedge srpp_{ij} = 1$ $srpkn_{ij} = 1 \wedge srpkp_{ij} = 2$
$DPRP_{ij} =$	$DKRP_{ij} - tRP_{ij}$	$DKRP_{ij} - tRP_{ij}$
$tRP_{ij} =$	$\max\{tRPn_{ij}, tRPp_{ij}\}$	$tRPn_{ij} + tRPp_{ij}$
$tRPn_{ij} =$		$\frac{xchn_{ij}41}{PosRPn_{ij}}$
$tRPp_{ij} =$		$\frac{xchp_{ij}41}{PosRPp_{ij}}$
$DKRP_{ij} =$		$DPRO_{ij}$

Pozostałe charakterystyki obliczane wg tabeli 2.

TABELA 10

Charakterystyki drążenia przecinki ściany kolejnego obiektu ścianowego

TABLE 10

Characteristics of cross-cutting works in next longwall object

Charakt. \ Wariant	$srprz_{ij} = 0$	$srprz_{ij} = 1$
$DPRO_{ij} =$	$DKRO_{ij} - tRO_{ij}$	$DKRO_{ij} - tRO_{ij}$
$tRO_{ij} =$	0	$\frac{xch_{ij}41}{PosRO_{ij}}$
$DKRO_{ij} =$	$DPZB_{ij}$	$DPZB_{ij}$

Pozostałe charakterystyki obliczane wg tabeli 3.

TABELA 11

Charakterystyki drążenia przecinki ściany kolejnego obiektu ścianowego cd.

TABLE 11

Characteristics of cross-cutting works in next longwall object

Charakt. \ Wariant	$srprz_{ij} = 2$
$DPRO_{ij} =$	$DKRO_{ij} - tRO_{ij}$
$tRO_{ij} =$	$\frac{xch_{ij41}}{PosRO_{ij1} + PosRO_{ij2}}$
$DKRO_{ij} =$	$DPZB_{ij}$

Pozostałe charakterystyki obliczane wg tabeli 4.

TABELA 12

Charakterystyki prac zbrojeniowych dla ściany kolejnego obiektu ścianowego

TABLE 12

Characteristics of equipment works in next longwall object

Charakt. \ Wariant	$szb_{ij} = 1$	$szb_{ij} = 0$
$DPZB_{ij} =$	$DKZB_{ij} - tZB_{ij}$	DKE_{ijk-1}
$tZB_{ij} =$	tzb	$\max\{tzb, tlik\}$
$DKZB_{ij} =$	DKE_{ijk-1}	$DPZB_{ij} + tZB_{ij}$

Pozostałe charakterystyki obliczane wg tabeli 5.

Charakterystyki dla prac zbrojeniowych ściany kolejnego obiektu ścianowego w i -tym ciągu produkcyjnym zestawiono w tabeli 12.

Szczególnym przypadkiem są roboty udostępniające k -te pole eksploatacyjne, których wykonanie jest warunkiem koniecznym do realizacji robót górniczych w obiektach ścianowych przynależnych do niego terytorialnie, a jednocześnie przypisanych do ciągów produkcyjnych.

Jeżeli do realizacji robót górniczych w j -tym obiekcie ścianowym wchodzących w skład i -tego ciągu produkcyjnego wymagane jest wcześniejsze udostępnienie k -tego pola eksploatacyjnego, to charakterystyki prac udostępniających k -te pole eksploatacyjne z uwzględnieniem wariantu stanu wykonania wyrobiska udostępniającego oblicza się według zależności podanych w tabeli 13.

Przeliczenie sieci stochastycznej według podanych zależności jest realizowane za pomocą symulacji metodą Monte Carlo. Dla charakterystyk będących zmiennymi losowymi

TABELA 13

Charakterystyki prac udostępniających k -te pole eksploatacyjne

TABLE 13

Characteristics of opening works in k -tem mining field

Charakt. \ Wariant	$u_i = 0$	$u_i = 1$
$DPRU_k =$	$DKRU_k - tRU_k$	$DKRU_k - tRU_k$
$tRU_k =$	0	$\frac{xch_{k41}}{PosRU_k}$
$DKRU_k =$	DS_{ij}	DS_{ij}
$PosRU_k =$	0	pos_u
$KosztRU_k =$	0	$f(PosRU_k)$
$WdebRU_k =$	0	$xch_{k21} \cdot xch_{k43} \cdot pos_u$
$WdenRU_k =$	0	$WdebRU_k \cdot (100 - xch_{k7}) \cdot xd_1$
$JWWRU_k =$	0	$0,8 \cdot xd_2 \left(\frac{xch_{k8}}{25120,8} - \frac{xch_{k9} - 1}{10} - \frac{xch_{k10} - 12}{100} \right)$

gdzie:

 pos_u — wylosowana wartość postępu.

(postęp robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych (Pos)) w momencie symulacji z ich rozkładu losowane są pojedyncze wartości (pos_u), które są wyjściowe do obliczenia czasu trwania danej czynności (t), wydobycia pochodzącego z danego typu robót ($Wdeb/Wden$) i kosztu prowadzonych prac ($Koszt$), obliczanych według odpowiednich postaci funkcyjnych (wzory (1), (2)).

Otrzymane wartości kosztu ($Koszt$), wydobycia brutto ($Wdeb$), wydobycia netto ($Wden$) oraz jednostkowej wartości (przewidywanej ceny) węgla (JWW) odnoszone są do każdego dnia roboczego czasu trwania danej czynności (t).

1.3. Wyniki obliczeń

Powiązanie sieci stochastycznej z osią czasu umożliwia obliczanie następujących charakterystyk w każdym dniu roboczym prowadzonych robót górniczych:

— kosztu prowadzonych robót z uwzględnieniem ich typu, obliczanego jako:

$$KosztPW_d =$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (KosztRU_i + KosztRP_{ij} + KosztRO_{ij} + KosztZB_{ij} + KosztE_{ij} + KosztLIK_{ij}) \quad [zł/d]$$

— wielkości wydobycia brutto, obliczanej jako:

$$WdebCalk_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (WdebRU_i + WdebRP_{ij} + WdebRO_{ij} + WdebE_{ij}) \quad [\text{Mg/d}]$$

— wielkości wydobycia netto, obliczanej jako:

$$WdenCalk_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (WdenRU_i + WdenRP_{ij} + WdenRO_{ij} + WdenE_{ij}) \quad [\text{Mg/d}]$$

— wartości węgla pochodzącego z robót górniczych, obliczanej jako:

$$WartCalk_d = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (JWWRU_i \cdot WdenRU_i + JWWRP_{ij} \cdot WdenRP_{ij} + JWWRO_{ij} \cdot WdenRO_{ij} + JWWE_{ij} \cdot WdenE_{ij}) \quad [\text{zł/d}]$$

gdzie:

n — liczba ciągów produkcyjnych,

m — liczba obiektów ścianowych w ciągu produkcyjnym.

Dla projektanta kompletny plan prowadzenia przyszłych robót powinien zawierać pełne oszacowanie przyszłych kosztów i wyników finansowych. W powyższych rozważaniach koszt prowadzenia robót ($Koszt$), wyznaczany według odpowiedniej postaci funkcyjnej, obejmuje koszty przypisane bezpośrednio do obiektów, na których były wykonywane w ramach tzw. centrów kosztów (centrum wydobywczego, przygotowawczego oraz zbrojeniowo-likwidacyjnego).

W układzie oddziałowego rachunku kosztów wydzielono oprócz wspomnianych wyżej następujące centra:

- centrum przewozu i transportu dołowego (1),
- centrum wentylacyjne (2),
- centrum elektryczne (3),
- centrum mechaniczne (4),
- centrum szybowe (5),
- centrum przeróbki mechanicznej (6),
- centrum pozostałe (7).

Działalność pozostałych centrów ma istotne znaczenie pomocnicze dla prowadzonej eksploatacji w ramach procesu produkcyjnego, generuje również znaczne koszty, które należy uwzględnić przy sporządzaniu planów dotyczących robót górniczych i osiągniętych w przyszłości wyników produkcyjnych i finansowych.

Przyjęto, iż koszt i -tego centrum w dniu roboczym wyrażony jest funkcją o postaci:

$$KosztP_i = f(Wde) = F_i \cdot WdenCalk_d + G_i \quad [zł/d]$$

gdzie:

- i — numer centrum, dla $i = (1, 2, \dots, 7)$,
- F — współczynnik określający koszty w danym centrum zależne od wielkości wydobycia dobowego [zł/Mg],
- G — współczynnik określający koszty w danym centrum niezależne od wielkości wydobycia dobowego [zł/d].

Sumę kosztów w pozostałych centrach oblicza się według wzoru:

$$KosztPC_d = \sum_{i=1}^7 KosztP_i \quad [zł/d]$$

stąd całkowity koszt dzienny można wyznaczyć ze wzoru:

$$KosztCalk_d = KosztPW_d + KosztPC_d \quad [zł/d]$$

Na podstawie przyjętych założeń można wyznaczyć następujące charakterystyki:

— miesięczną wielkość wydobycia netto:

$$WdenCalkMc = \sum_{i=1}^d WdenCalk_d \quad [Mg/m-c]$$

gdzie:

d — liczba dni roboczych w miesiącu,

— miesięczny koszt prowadzonych robót, obliczany jako:

$$KosztCalkMc = \sum_{i=1}^d KosztCalk_d \quad [zł/m-c]$$

— miesięczną wartość węgla pochodzącą z robót górniczych:

$$WartCalkMc = \sum_{i=1}^d WartCalk_d \quad [zł/m-c]$$

— całkowitą wielkość wydobycia netto pochodzącą z robót górniczych w badanym okresie:

$$WdenCalkOkr = \sum_{i=1}^{do} WdenCalkMc_{do} \quad [\text{zł/okres}]$$

gdzie:

do — liczba miesięcy w okresie,

— całkowity koszt prowadzonych robót w badanym okresie:

$$KosztCalkOkr = \sum_{i=1}^{do} KosztCalkMc_{do} \quad [\text{zł/okres}]$$

— całkowitą wartość węgla pochodzącego z prowadzonych robót w badanym okresie:

$$WartCalkOkr = \sum_{i=1}^{do} WartCalkMc_{do} \quad [\text{zł/okres}]$$

— jednostkowy koszt sprzedanego węgla w badanym okresie:

$$kj = \frac{KosztCalkOkr}{WdenCalkOkr} \quad [\text{zł/Mg}]$$

— jednostkową wartość (przewidywaną cenę) węgla pochodzącego z prowadzonych robót górniczych w badanym okresie, którą oblicza się z następującego wzoru:

$$JWW_j = \frac{WartCalkOkr}{WdenCalkOkr} \quad [\text{zł/Mg}]$$

— wynik jednostkowy na sprzedaży (akumulację jednostkową) w badanym okresie:

$$aj = JWW_j - kj \quad [\text{zł/Mg}]$$

Podane charakterystyki zostały wyprowadzone w oparciu o założenie, że wydobycie netto w danej jednostce czasu odpowiada wielkości sprzedanego węgla.

Po przeprowadzeniu N-krotnych obliczeń z uwzględnieniem prawdopodobieństwa realizacji alternatywnych łuków sieci otrzymuje się rozkłady prawdopodobieństwa powyższych charakterystyk zarówno dla poszczególnych ciągów produkcyjnych, jak i dla całej kopalni.

Do oceny ryzyka towarzyszącego prowadzonej eksploatacji i osiągnięcia podanych wartości badanych charakterystyk przyjęto parametr charakteryzujący rozproszenie rozkładów gęstości prawdopodobieństwa, czyli odchylenie standardowe.

Po wykonaniu obliczeń symulacyjnych otrzymane rozkłady podanych charakterystyk stają się podstawą do wyboru najlepszego sposobu prowadzenia robót górniczych według przyjętego kryterium optymalizacji.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono podstawy modelu matematycznego dla opracowanej metody modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. W modelu tym wyprowadzono zależności matematyczne występujące pomiędzy charakterystykami czynności opisujących prowadzenie przyszłej eksploatacji tak, aby umożliwić jej zaprojektowanie na modelu sieciowym. W następnej części artykułu zostanie szczegółowo przedstawiona procedura optymalizacji umożliwiająca wybór najlepszego wariantu prowadzenia robót górniczych z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z planu techniczno-ekonomicznego danej kopalni węgla kamiennego.

Artykuł opracowany w ramach pracy statutowej 11.11.100.856

LITERATURA

- Brzychczy E., 2005 — Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Praca doktorska, AGH, Kraków.
- Brzychczy E., 2005 — Wykorzystanie WAP w modelowaniu produkcji górniczej. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 110, seria Konferencje nr 42. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Brzychczy E., 2006a — Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 1. Podstawowe definicje i założenia. Gosp. Sur. Min., t. 22, z. 1, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Brzychczy E., 2006b — Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 2. Teoria technik sieciowych i budowa sieci stochastycznej. Gosp. Sur. Min., t. 22, z. 2, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

MODELLING AND OPTIMISATION METHOD OF MINING WORKS IN HARD COAL MINE WITH AN APPLICATION OF STOCHASTIC NETWORKS. PART 3. MATHEMATICAL MODEL

Key words

Modelling, optimisation, mining works, stochastic networks, GAN networks, GERT method

Abstract

The article presents mathematical model introduced to modelling and optimisation method of mining works in hard coal mine with an application of stochastic networks. Presented method could be an useful tool to design process of future mining works in coal mine, according to technical and economical plans.