ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 189 Nr kol. 1077

Anrzej FLISOWSKI
Gustaw NIEMIEC
Eugeniusz SROCZYŃSKI

Politechnika Śląska w Gliwicach

CHARAKTERYSTYKA SYMULACJI KOPALNI NA ETAPIE JEJ BUDOWY ORAZ EKSPLOATACJI ZŁÓŻ WĘGLA KAMIENNEGO
CZĘŚĆ II. MODELOWANIE POSZCZEGÓLNYCH UKŁADÓW W KWK

Streszczenie. Część II artykułu dotyczącego symulacji kopalni węgla kamiennego dotyczy w szczególności pracy dysponenta transportu kołowego, ruchu pociągów na bezkolizyjnej trasie okrężnej, procesu gromadzenia się urobku w zbiorniku wyrównawczym załadowczym i wyładowczym. Dla każdego z powyższych problemów skonstruowano szczegółowy model matematyczny z podaniem parametrów wejściowych i wyjściowych.

Zaprezentowane modele matematyczne po ich oprogramowaniu na EMC dają podstawę do symulowania pracy kopalni węgla kamiennego tak na etapie jej budowy jak i eksploatacji złoża.

1. WSTĘP

Opierając się na wzorach wyprowadzonych w pracy [12], można bezpośrednio modelować i symulować pracę takich układów kopalni, jak ściany wydobywcze, transport ze ścian oraz transport pionowy. Układy te tworzą pewne zespoły mechaniczne, które podlegają klasycznemu zużyciu, czyli występuje problem zagrożenia awarią oraz możliwość wystąpienia samej awarii.

Osobnemu rozpatrzeniu poddany zostanie układ transportu kołowego oraz układy zbiorników wyrównawczych. W transporcie kołowym symulacji podlegać musi ruch pociągów oraz praca dysponenta ruchu. Dla zbiorników natomiast istotny jest problem uzupełnienia zbiorników.

Model dysponenta wyszczególniono jako odrębny układ obok modeli ruchu kopalnianej kolei podziemnej, a ruch kopalnianej kolei podziemnej został przedstawiony w postaci ruchu ciągłego bez użycia pojęcia blokady [6], a jedynie jako ruch z zachowaniem bezpiecznej odległości między jednostkami transportowymi ze względu na drogę hamowania. Model taki wierniej (rzetelniej) oddaje rzeczywisty ruch pociągów.

Ze względu na małą awaryjność zbiorników załadowczego i wyładowczego przedstawiono odrębne modele ich pracy. W modelach tych uwypuklone zostały gromadzenia się urobku w zbiornikach, przy czym uwzględniono ruch jednostek transportowych w punktach załadowczych i rozładowczym. Prezentowane modele dają podstawy teoretyczne modelowania i symulowania pracy kopalni węgla kamiennego tak na etapie budowy kopalni jak i pracującej w pełni.

2. SYMULACJA PRACY DYSPONENTA TRANSPORTU KOŁOWEGO

Dysponent w ruchu kopalnianej kolei podziemnej odgrywa istotną rolę i od jego decyzji zależy funkcjonalność transportu kołowego. Dysponent analizujący sytuację na trasie nie wyśle pociągu do punktu załadowczego, jeśli wie, że przed tym punktem stoi już pociąg w oczekiwaniu na załadowanie. Nie wyśle również pociągu na odcinek zablokowany itp. Można więc powiedzieć, że dysponent, opierając się na posiadanej informacji, "wygładza" losowość przejazdu. Problem losowości ruchu jednostek transportowych jest przesunięty na decyzję dysponenta i prawidłowo wysłany pociąg powinien bez zakłóceń wykonać cykl transportowy. Istotną rolę w pracy dysponenta spełnia decyzja o włączeniu pociągu do ruchu na początku każdej zmiany, można obserwować fakt, że dysponent nie wysyła pociągów na trasę w jednakowych odstępach czasu, lecz w miarę potrzeb i możliwości przejazdu. Problem ten pomijają dotychczasowe opracowania symulacyjne, gdzie pociągi są wysyłane na trasę w jednakowych odcinkach czasu, np. co 5 minut. Stwarza to dodatkowe problemy w ruchu jednostek transportowych przy przejazdach przez skrzyżowania czy też przez punkty załadowcze, gdzie tworzą się kolejki. A model taki odbiega w swej realizacji od oryginału, którego historię stanów ma realizować [11]

Dysponent wyznacza moment włączania pociągu do ruchu, przy czym jego decyzja musi spełniać następujące warunki:

1. pociąg nie może zostać włączony do ruchu zbyt wcześnie, gdyż:
   a) może zablokować trasę przejazdu,
   b) może oczekiwać na załadunek,
   c) może zostać zablokowany na trasie,

i

2. pociąg nie może być włączony do ruchu zbyt późno, gdyż:
   a) może opóźnić załadunek określonej partii towaru,
   b) może zmaleć jego krążność,
   c) może zostać zablokowany na trasie i sam również może zablokować trasę,

Warunki punktu 1 zmuszają dysponenta do wyczekiwania z uruchomieniem pociągu, nie uruchamia on wszystkich pociągów jednocześnie w jednakowych odstępach czasu, tylko w odpowiedniej chwili x. Punkt 2 implikuje istnienie takiego momentu y, po którym uruchomienie pociągu jest spóźnione, co powoduje określenie straty w transporcie. Zadaniem dysponenta jest takie uruchomienie pociągu, aby $x < y$ oraz $y - x$ była wielkością małą. Mamy więc, zgodnie z tymi oznaczeniami, że

x - moment, po którym następuje uruchomienie pociągu (jednostki transportowej) przez dysponenta,

y - moment "krytyczny", po którym uruchomienie jest spóźnione,

niech dalej

α - oznacza zysk w transporcie przy prawidłowym uruchomieniu jednostki transportowej,

β - strata przy spóźnionym uruchomieniu.

Dla $x,y \in [0,1]$, czyli dla czasu unormowanego średni zysk wynosi

$$K(x,y) = \begin{cases} \alpha x - \beta(y - x) & x < y \\ \alpha x - \beta y & x = y \\ \alpha(x - y) - \beta y & x > y \end{cases}$$

Tak otrzymana funkcja $K(x,y)$, przy założeniach że

a) w miarę upływu czasu rośnie prawdopodobieństwo uruchomienia pociągu,

b) w miarę upływu czasu rośnie prawdopodobieństwo zaistnienia momentu y.

Funkcja $K(x,y)$ w pełni spełnia założenia i rozwiązaniem jej jest funkcja rozkładu

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < \left(\frac{\beta}{\beta+\alpha}\right)^{\frac{\beta+\alpha}{\alpha}} = \delta \\ \int\limits_{\delta}^{x} \frac{\beta}{\beta+\alpha} t^{-\frac{\alpha}{\beta+\alpha}-1} dt & \delta \leq x \leq 1 \end{cases}$$

Niech $X(t)$ będzie zmienną losową określającą liczbę pociągów włączonych do ruchu w chwili t, zmienna ta przyjmuje wartości dyskretne 0,1,2,3,...,m odpowiednio z prawdopodobieństwami $p_i(t)$, gdzie $i = 0,1,2,3,\ldots,m$.

Prawdopodobieństwo $p_i(t)$ łatwo jest znaleźć ze schematu Bernouliego, a wartość oczekiwana jest średnią liczbą pociągów włączonych do ruchu w chwili t i wynosi

$$M(t) = E\left(\overline{X}(t)\right)$$

W ten sposób określony został proces stochastyczny, którego wartością oczekiwaną jest nielosowa funkcja M(t). Ogólnie możemy założyć, że dysponent albo przewiezie określoną ilość urobku, albo nie, czyli że $\alpha = \beta$ i wówczas mamy

$$M(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leqslant t < \frac{1}{4} \\ 2r - \frac{r}{t} & \frac{1}{4} \leqslant t \leqslant 1 \end{cases}$$

Założenie $\alpha = \beta$ oznacza, że praca dysponenta nie jest niczym wymuszona, np. przejazdem Urzędu Górniczego itp. priorytetowych pociągów. Może się jednak zdarzyć, że dysponent nie będzie pracował optymalnie, zdarzy się to w przypadku wymuszenia jego decyzji. Sytuacje takie będzie można opisać i odpowiednio symulować różnicując wartości α i β. Na przykład przyjmując $\alpha = 3\beta$, otrzymamy, że zysk jest trzykrotnie większy od straty. Dysponent będzie wymuszał pracę całego transportu. Przyjęto również, że prawdopodobieństwo uruchomienia pociągu jest równe p(t) dla każdego pociągu, oznacza to, że nie ma priorytetów we włączaniu pociągów do ruchu. Można to utożsamiać np. z jednakowym stanem technicznym pociągów. Jak wykazały badania, przedstawiony model pracy dysponenta dosyć wiernie odzwierciedla tę pracę [11].

3. RUCH POCIĄGÓW NA BEZKOLIZYJNEJ TRASIE OKRĘŻNEJ

Model ruchu pociągów również wymaga osobnego omówienia. Stosowane i opisane w literaturze metody symulacyjne przedstawiają ruch pociągów za pomocą "kwantowania" (cięć) czasu, które polega na ustaleniu pewnego minimalnego kwantu czasu i analizowaniu stanu całego układu po upływie kolejnych kwantów i "przesuwa" się wszystkie pociągi o drogę, jaką mogą przejechać w tym czasie. Inna metoda symulacji to metoda następstwa zdarzeń, polega na analizowaniu układu tylko w tych momentach, w których następują zmiany stanu ilościowe lub jakościowe. Trasę dzieli się na odcinki i wjazd na kolejny odcinek jednostki transportowej jest możliwy wówczas, gdy odcinek jest pusty [5].

W paragrafie tym przedstawiony zostanie model ruchu pociągów, w którym ruch pociągów odbywa się w sposób ciągły i obowiązuje jedynie zachowanie bezpiecznej odległości ze względu na drogę hamowania.

Zakładamy dopuszczalne składy pociągów (rodzaj wagonów, ich liczbę, typ lokomotywy) oraz maksymalne prędkości. Zachowujemy podział trasy na odcinki, ale ze względu na topografię na takie odcinki, na których obowiązuje stała prędkość. Takich odcinków przewidujemy co najmniej cztery (nie jest to podział organizacyjny, taki jak w modelach symulacyjnych).

1. Trasa od punktu załadowczego do szybu - ruch pociągów pełnych.
2. Obsługa w szybie.
3. Trasa od szybu do punktu załadowczego - ruch pociągów pustych.
4. Obsługa w punkcie załadowczym.

Na każdym z tych odcinków ruch pociągów za pociągiem odbywa się w sposób ciągły, z zachowaniem bezpiecznej odległości.

Jeżeli uwzględnimy awarie na trasie oraz czas ich trwania, to odległość a(t) dwóch kolejnych pociągów w chwili t jest zmienną losową. Przeanalizujemy dokładniej ruch dwóch kolejnych pociągów na jednym (k-tym) odcinku trasy. W celu przeprowadzenia analizy wprowadzamy oznaczenia:

$i = 1,2,\ldots,I$ - nr pociągu,

$k = 1,2,2,3,4$ - nr odcinka,

d_k [km] - długość odcinka k,

v_k [km/h] - prędkość stała na odcinku k,

$tl_k = \frac{d_k}{v_k}$ - stały czas przejazdu przez odcinek, jeżeli nie nastąpił postój awaryjny ani wymuszony przez pociąg poprzedzający,

ta_{ik} - czas przejazdu przez odcinek pociągu i-tego z uwzględnieniem awarii losowych, zmienna losowa o znanym rozkładzie,

t_{ik} - czas przebywania i-tego pociągu na k-tym odcinku,

$V_{ik} = \frac{d_k}{t_{ik}}$ - średnia prędkość i-tego pociągu na k-tym odcinku,

$a_{ik}(t)$ - odległość pociągu i-tego poprzedniego w chwili t,

a_o - stała, bezpieczna odległość między pociągami będącymi w ruchu,

tO_{1k} - opóźnienie w czasie i-tego pociągu względem i-tego pociągu na odcinku k

mamy

$$to_{ik} = \begin{cases} \text{const} & \text{dla 1-ego odcinka w 1-szym cyklu} \\ to_{i,k-1}-t_{i,k-1}-t_{i-1,k-1} & \text{dla pozostałych przypadków} \end{cases}$$

Jeżeli pociąg i-ty jedzie z prędkością v_k, to

$$a_{ik}(t) = v_{i-1,k} \cdot t - v_k \cdot (t-to_{ik}) \quad \text{dla} \quad to_{ik} < t < t_{i-1,k}$$

Jeżeli na całym odcinku $a_{ik}(t) \geqslant a_o$, to ruch pociągu i-tego odbywa się bez zakłóceń wymuszonych. Jeżeli $a_{ik}(t) < a_o$, to następuje postój wymuszony. Warunek $a_{ik}(t) < a_o$ jest równoważny nierównościom

$$\underline{\underline{v}}_k > \frac{v_{i-1,k} \cdot t - a_o}{t - to_{ik}} = \underline{v}_{ik}$$

$$t > \frac{v_k \cdot to_{ik} - a_o}{v_k - v_{i-1,k}} = \tau_{ik} ,$$

zatem

$$a_{ik}(t) = \begin{cases} v_{i-1,k} \cdot t + a_o(t) & 0 < t < to_{ik} \\ v_{i-1,k} \cdot t - v_k \cdot (t-to_{ik}) & to_{ik} < t < \tau_{ik} \\ a_o & \tau_{ik} < t < t_{i-1,k} \end{cases}$$

$$a_o(t) = \begin{cases} 0 & \text{w pierwszym cyklu } (k=1) \\ v_{i,k-1} \cdot (to_{ik}-t) & \text{w pozostałych,} \end{cases}$$

Ruch pociągu i-tego z wymuszonym postojem jest równoważny ruchowi ciągłemu ze zmniejszoną prędkością średnią wyrażoną wzorami

$$v_{ik}(t) = \begin{cases} v_k & to_{ik} < t < \tau_{ik} \\ v_{i-1,k} & \tau_{ik} < t < t_{i-1,k} \\ \min(v_{k-1}, v_k) = v_k & t_{i-1,k} < t < t_{i-1,k} + to_{i,k+1} \end{cases}$$

Przy ruchu wymuszonym $to_{i,k+1} = \dfrac{a_o}{\underline{\underline{v}}_k}$.

Wyznaczymy czas przebywania pociągu i-tego na odcinku k-tym. Niech ta_{ik} będzie zmienną losową oznaczającą czas przejazdu przez odcinek k z uwzględnieniem czasu awarii własnej pociągu. Czas przebywania na odcinku k, wymuszony przez pociąg poprzedni wynosi

$$tw_{ik} = \begin{cases} t_{i-1,k} - to_{ik} + to_{i,k-1} & \tau_{ik} \leq t_{i-1,k} \\ t_{ik} & \tau_{ik} > t_{i-1,k} \end{cases}$$

$$\tau_{ik} > t_{i-1,k} \Longleftrightarrow v_k \cdot (t_{i-1,k} - to_{ik}) + a_o < d_k$$

Mogą zajść następujące przypadki wystąpienia postoju wymuszonego i awarii własnej:

1) awaria własna następuje przed dopędzeniem pociągu poprzedniego, postój wymuszony może wystąpić po awarii własnej lub nie, wówczas czas pobytu pociągu "i" - tego na odcinku k-tym jest

$$t_{ik} = \max\,(tw_{ik}, ta_{ik})$$

2) postój wymuszony poprzedza awarią własną, wtedy czas pobytu wymuszonego tw_{ik} zwiększa się o czas awarii

$$t_{ik} = tw_{ik} + ta_{ik} - t_{ik} = tw_{ik} + v_{ik}$$

Z braku informacji o momentach wystąpienia awarii nie potrafimy w modelu rozróżnić tych dwóch przypadków. Przypadek 2) zwiększa opóźnienia na trasie i można go traktować jako zajście najgorszej sytuacji.
Można więc analizować dwie wersje modelu:

a) sytuację korzystniejszą, odpowiadającą przypadkowi 1),

wówczas

$$t_{ik} = \begin{cases} t_{ik} & ta_{ik} \leq t_{ik} \wedge \tau_{ik} > t_{i-1,k} \\ \max(tw_{ik},\ ta_{ik}), & \text{jeżeli przeciwnie} \end{cases}$$

b) sytuację najgorszą, odpowiadającą 2) i wówczas

$$t_{ik} = \begin{cases} tw_{ik}, & \text{jeżeli} \quad ta_{ik} \leq t_{ik} \\ tw_{ik}+ta_{ik}-t_{ik}, & \text{jeżeli} \quad ta_{ik} > t_{ik} \end{cases}$$

Powyższe zależności opisują ruch na jednym odcinku. Ze względu na trudności uzyskiwania danych nie uwzględniono czasu trwania postojów awaryjnych na trasie ani momentów występowania awarii.

Znamy tylko rozkład czasów jazdy na danym odcinku. Na odcinku punktu załadowczego jest to czas ładowania składu, zależny od spływu urobku i dlatego traktowany jest jako zmienna losowa. Analogicznie w szybie czas rozładunku zależy od sprawności urządzenia wyciągowego i jest zmienną losową.

Ponieważ przypadek opisywany jest przypadkiem ciągłym, to możemy używać wartości średnich jako wykładników sytuacji na trasie.

Ruch odbywa się na trasie okrężnej, jedno okrążenie nazywamy cyklem $j=1,2,\dots,J$ nr cyklu. Z poprzednich rozważań dysponujemy czasami przejazdu pociągu i przez odcinek k w cyklu j:

t_{ikj} - zmienne losowe,

$t_{ij} = \sum_k t_{ikj}$ - czas jednego cyklu dla pociągu i,

$\max t_{ij} = t_j$ - czas jednego cyklu.

Jeżeli T - czas pracy (zmienna), to J oznacza taką liczbę cykli, że:

$$t_1 + t_2 + \dots + t_j \leq T \quad \text{i} \quad t_1 + t_2 + \dots + t_{j+1} > T$$

Zakładamy znajomość rozkładu czasów t_{ijk}. Za pomocą odpowiednio dobranego generatora ustalamy wartości t_{ijk} dla każdej trójki (i,j,k). Zbiór liczb t_{ij} stanowi jedną realizację procesu. Dla tej jednej realizacji proponujemy następujące średnie parametry ruchu:

$a_{ikj}(t)$ - odstęp pociągu i od poprzedniego na odcinku k w cyklu j,

$a_{ikj} = \frac{1}{t_{ikj}} \int_0^{t_{ikj}} a(t)dt$ - średni odstęp dla pociągu na całej trasie,

$a_j = \frac{1}{J} \sum_i a_{ij}$ - średni odstęp między dwoma kolejnymi pociągami w cyklu j.

Załóżmy, że interesuje nas natężenie ruchu pociągów w punkcie załadowczym, tzn. liczba pociągów, które w czasie jednej godziny przejadą przez punkt załadowczy - N [poc/h]. Średnie natężenie N_o wyznacza wydajność punktu załadowczego i wynosi

$N_o = \frac{Q_n}{q}$, gdzie Q_n [ton/h] - wydajność punktu załadowczego,

q [ton] - pojemność pociągu.

Natomiast w ruchu jednorodnym i przy jednolitej prędkości obowiązuje zależność [9]

$$N = \frac{v \cdot 1000}{a + s},$$

gdzie:

v [km/h] - średnia prędkość,
a [m] - średnia odległość między pociągami,
s [m] - długość składu (pociągu).

Interesuje nas też przepustowość punktu załadowczego, czyli liczba pociągów, które przejadą przez punkt załadowczy w określonym czasie T zmiany [9]. Określamy je wzorem

$$C = N \cdot T$$

Mamy też dla jednego cyklu, że

$$N_j = \frac{v_j}{a_j + s}$$

$$N_j \cdot t_j = \frac{d}{a_j + s}$$

$$C = \sum_j N_j \cdot t_j \quad \text{dla} \quad \sum_j t_j \leq T$$

gdzie T jest okresem jednej zmiany.

Czyli otrzymaliśmy liczbę pociągów, które w czasie pracy jednej zmiany przejadą całą trasę. Prezentowany model umożliwia opis ruchu pociągów kopalnianej kolei podziemnej zgodny z rzeczywistym ruchem pociągów. W połączeniu z modelem pracy dysponenta otrzymamy model transportu kołowego.

4. OPIS PROCESU GROMADZENIA SIĘ UROBKU W ZBIORNIKU ZAŁADOWCZYM

Probabilistyczny model tego procesu w wersji ciągłej prowadzi do równań różniczkowych cząstkowych. W celu uniknięcia można rozpatrzeć model w wersji dyskretnej. Dyskretyzację tego procesu oparto na założeniach:

- zbiornik może zawierać w chwili t tylko wielokrotności (k) dyskretnych porcji urobku d[Mg]

$$\overline{V}(t) = k \cdot d \qquad k = 0,1,\dots,K$$

gdzie:

$K \cdot d$ - całkowita pojemność zbiornika,

- dopływ urobku z frontu wydobywczego odbywa się zgodnie z zadanym dyskretnym rozkładem prawdopodobieństwa

$$P(m.d) \qquad m = 0,1,..,M$$

oraz pojemność jednostek obsługujących zbiornik wyrażona jest w tych samych porcjach d urobku i wynosi

$$Q_j = p \cdot d \,[Mg]$$

Czas dyspozycyjny T dzieli się na równe i dostatecznie małe przedziały o długości dt, te same, dla których obowiązuje rozkład spływu urobku z frontu wydobywczego. Wszelkie zjawiska dla tych przedziałów będą rozpatrywane na ich końcach (w dyskretnych momentach czasu). Dowolne zatem, kolejne dyskretne momenty czasu można zapisać następująco:

- początek przedziału $t = z \cdot dt$,
- koniec przedziału $t + dt = (z + 1)dt$.

W świetle poczynionych założeń przy podziale czasu na przedziały dt w każdym z nich mogą zajść tylko trzy następujące niezależne od siebie zdarzenia:

Zdarzenie A

Załadowana j-ta jednostka opuściła punkt załadowczy przed początkiem przedziału dt (przed momentem t). W tym momencie t stan zbiornika jest między innymi następstwem uprzedniego załadowania tej jednostki i dostawy urobku z frontu do momentu t. Stan ten oznaczymy przez

$$V_j(t) = l \cdot d$$

Natomiast na końcu przedziału dt (w chwili t dt) stan zbiornika oznaczymy przez

$$V_A(t + dt) = k.d$$

Stan ten zależy wyłącznie od stanu zbiornika na początku przedziału czasu i dopływu urobku z frontu, gdyż żadne ładowanie nie miało miejsca. W czasie dt dostarczono więc następującą ilość urobku:

$$m_A \cdot d = V_A(t+dt) - V_j(t) = (k-1)d$$

Zdarzenie B

Załadowana j-ta jednostka opuściła punkt załadowczy w przedziale (t t+dt). Wtedy początkowy stan zbiornika (w momencie t) można wyznaczyć:

$$V_p(t) = 1 \cdot d$$

Ten stan jest między innymi następstwem załadowania poprzedniej jednostki (j_p-tej) oraz dopływu urobku z frontu (do chwili t). Na końcu przedziału w chwili t dt stan zbiornika oznaczamy przez

$$V_B(t+dt) = k.d$$

W tym czasie dopływ urobku musi pokryć zarówno różnicę poziomów, jak i ładowność jednostki, czyli

$$Q_j = p.d$$

i wynosi

$$m_B\ d = V_B(t+dt) - V_p(t) + Q_j = (k+p-1) \cdot d$$

Zdarzenie C

J-ta jednostka nie opuściła punktu załadowczego do chwili t dt. Wtedy podobnie jak w zdarzeniu B, stan początkowy zbiornika zależy od załadowania j_p-tej jednostki i od dopływu urobku, co można oznaczyć przez

$$V_p(t) = 1 \cdot d$$

Stan zbiornika na końcu przedziału oznaczamy

$$V_c(t+d) = k \cdot d$$

Podobnie jak w zdarzeniu A zależy on od stanu na początku przedziału oraz od dopływu urobku (nie miało miejsca żadne ładowanie). Z bilansu wynika, że ilość urobku musi wynosić

$$m_c \cdot d = V_c(t+dt) - V_p(t) = (k-l) \cdot d$$

Celem naszym jest obliczenie prawdopodobieństwa końcowego stanu zbiornika po przejeździe j-tej rozpatrywanej jednostki, który jest następstwem opisanych zdarzeń A, B i C. Innymi słowy musimy obliczyć rozkład prawdopodobieństwa osiągnięcia przez zbiornik stanów k.d w dyskretnych momentach czasu $t = z \cdot dt$, przy czym

$$k = 0,1,\ldots,K-1, \qquad z = 1,2,\ldots,Z$$

Rozumowanie prowadzące do zależności rekurencyjnej na obliczanie tego rozkładu przytoczono poniżej.

Jak wynika to z opisu, zdarzenia A, B, C są rozłączne.

$$P(A \cap B) = P(A \cap C) = P(B \cap C) = 0$$

Tworzą one domkniętą przestrzeń zdarzeń (jedno z nich zachodzi na pewno) $P(A \cup B \cup C) = 1$. Na podstawie twierdzenia o prawdopodobieństwie całkowitym można zapisać wzór na prawdopodobieństwo osiągnięcia końcowego zapełnienia zbiornika

$$V = k \cdot d$$

$$P(V) = P(A) \cdot P(V/A) + P(B) \cdot P(V/B) + P(C) \cdot P(V/C)$$

Prawdopodobieństwa warunkowe są prawdopodobieństwami sum dwóch zmiennych losowych:

- stanu początkowego zbiornika V_p lub V_j ,
- dopływu urobku z frontu m_A.d, m_B.d, m_C.d.

Zakłada się, że zmienne te można uważać za statystycznie niezależne. Zatem ważny jest wzór na prawdopodobieństwo sumy niezależnych zmiennych losowych:

$$P\ V/A = \sum_{l=0}^{K} p_j\left[V = l.d\right] \cdot P\left[m_A \cdot d = (k-l)d\right]$$

dla zdarzenia B

$$P\ V/B = \sum_{l=0}^{K} p_p \left[V = l.d\right] . P \left[m_B . d = (k-p-1)d\right]$$

dla zdarzenia C

$$P\ V/C = \sum_{l=0}^{K} p_p \left[V = l.d\right] . P \left[m_C . d = (k-1)\ d\right]$$

gdzie:

p_j, $p\ v = l.d$ - prawdopodobieństwo osiągnięcia stanu zbiornika wyrównawczego wynoszące l.d w momencie t odpowiednio po przejeździe rozpatrywanej j-tej jednostki (indeks "j") oraz po przejeździe poprzedniej jednostki (indeks "p").

W przypadku całkowitego zapełnienia zbiornika, gdy k = K, otrzymujemy:

$$P(V/A) = \sum_{l=0}^{K} p_j \left[v = l.d\right] . \sum_{q=k-1}^{\infty} P \left[m_A.d = q.d\right]$$

$$P(V/B) = \sum_{l=0}^{K} p_p \left[v = l.d\right] . \sum_{q=k-1}^{\infty} P \left[m_B.d = q.d\right]$$

$$P(V/C) = \sum_{l=0}^{K} p_p \left[v = l.d\right] . \sum_{q=k-1}^{\infty} P \left[m_C.d = q.d\right]$$

gdzie człony typu $\sum_{q=k-1}^{\infty} P\left[m.d = q.d\right]$ oznaczają prawdopodobieństwa takiego dopływu urobku z frontu, który napełniłby całkowicie zbiornik, po czym dostawa powinna być zatrzymana dla każdego z l możliwych poziomów początkowych l = 0,1,...,K.

Zdarzenia V/A, V/B, V/C muszą spełniać w tym przypadku potencjalną możliwość spłynięcia urobku, czyli

- dla zdarzeń A i X nie mniej niż (k-1)d [Mg] urobku,
- dla zdarzenia B nie mniej niż (k-p-1) [Mg] urobku.

5. OPIS PROCESU GROMADZENIA SIĘ UROBKU DLA ZBIORNIKA WYŁADOWCZEGO

Charakter pracy zbiornika wyładowczego jest podobny do pracy zbiornika załadowczego, wobec tego rozumowanie przy wyprowadzaniu równań opisujących wyładowania jest podobne, jak to podano poprzednio.

Podobnie jak dla zbiornika załadowczego proces gromadzenia urobku w zbiorniku wyładowczym możemy opisać przy założeniach:

- czas dyspozycyjny transportu T jest podzielony na przedziały jednakowej długości z.dt, (z+1)dt, gdzie dt długość przedziału,

$$t = 0,1,\ldots,Z = \frac{T}{dt}$$

- zbiornik wyładowczy w dowolnej chwili t zawiera tylko całkowite wielokrotności porcji urobku d, co zapisujemy

$$V(t) = k \cdot d\ [Mg]$$

Dodatkowo zakłada się, że odbiór urobku ze zbiornika przez urządzenie wyciągowe odbywa się zgodnie ze znanym, dyskretnym rozkładem prawdopodobieństwa P(m.d) w porcjach d[Mg] dla ustalonego przedziału czasu dt. Również pojemność jednostki transportowej wyrażona jest w tych samych porcjach urobku Q_j = p.d[Mg]. Dla określenia prawdopodobieństwa występowania dyskretnych stanów zbiornika k.d (k = 0,1,...,K) w wyróżnionych momentach czasu z.dt (z = 0,1,...,Z) rozpatrzony zostanie dowolny przedział czasowy z.dt, (z+1)dt. W przedziale tym mogą zajść tylko trzy następujące, wykluczające się wzajemnie zdarzenia:

Zdarzenie A

Ustalona j-ta jednostka opuściła punkt wyładowczy przed początkiem przedziału czasu z.dt, (z+1)dt. Wówczas w zbiorniku na końcu przedziału (z+1)dt będzie się znajdowało k.d urobku, jeśli na początku przedziału po przejeździe rozpatrywanej j-tej jednostki w zbiorniku znajdowało się l.d urobku, a w omawianym przedziale zostało odebrane przez urządzenie wyciągowe (l-k)d urobku. Stąd prawdopodobieństwo osiągnięcia w chwili (z+1)dt stanu k pod warunkiem zajścia zdarzenia A można zapisać:

$$P(V/A) = P_A[v = k.d] = \sum_{l=0}^{K} p_j\ (v=l.d)\ .\ P[m.d = (l-k).d]$$

dla k = 1,2,...,K

gdzie:

$P(V/A) = P_A\ (v = k.d)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia w chwili $(z+1)dt$ w zbiorniku k.d z urobku pod warunkiem zajścia A,

$P_j(v = l.d)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia w chwili zdt po przejeździe j-tej jednostki stanu l zbiornika.

Zdarzenie B

J-ta jednostka opuściła punkt wyładowczy w przedziale czasu $[zdt, (z+1)dt]$. Wówczas w chwili $(z+1)dt$ wystąpi w zbiorniku k.d urobku, jeżeli na początku przedziału zdt w zbiorniku po przejeździe poprzedniej j_p-tej jednostki znajdowało się l.d urobku, a w rozpatrywanym przedziale czasu zostało odebrane $(l-k+p).d$ urobku. Stąd prawdopodobieństwo osiągnięcia w chwili $(z+1)dt$ stanu k zbiornika, pod warunkiem zajścia zdarzenia B można określić następująco:

$$P(V/B) = P\left[v=k.d/t=(z+1)dt\right] = \sum_{l=0}^{K} p_p(v=l.d).P\left[m.d = (l-k+p)d\right]$$

dla $k = 1,2,\ldots,K$

gdzie:

$p_p(v=l.d)$ - prawdopodobieństwo wystąpienia w chwili t=zdt po przejeździe jednostki poprzedzającej daną jednostkę stanu l zbiornika.

Zdarzenie C

J-ta jednostka nie opuściła punktu wyładowczego do chwili $(z+1)dt$. Wówczas w chwili $(z+1)dt$ wystąpi w zbiorniku k.d urobku, jeśli na początku przedziału zdt w zbiorniku po przejeździe poprzedniej jednostki (j_p-tej) znajdowało się l.d urobku, a w przedziale $[zdt, (z+1)dt]$ urządzenie wyciągowe pobrało $(l-k).d$ urobku. Stąd, w podany sposób jak dla zdarzeń A i B, prawdopodobieństwo w chwili $(z+1)dt$ stanu k zbiornika, pod warunkiem zajścia zdarzenia C można określić następująco:

$$P(V/C) = P\left[v=k.d\right] = \sum_{l=0}^{K} p_p\left[v=l.d\right] \cdot P\left[m.d = (l-k)d\right]$$

dla $k = 1,2,\ldots,K.$

Tak określone zdarzenia A, B, C są zdarzeniami rozłącznymi, zatem na podstawie twierdzenia o prawdopodobieństwie całkowitym mamy, że:

$$P(V) = P(A) \cdot P(V/A) + P(B) \cdot P(V/B) + P(C) \cdot P(V/C),$$

gdzie P(A), P(B), P(C) to prawdopodobieństwa zajścia odpowiednio zdarzeń A, B i C, które są wyznaczone przez dystrybuantę określającą prawdopodobieństwo przejazdu j-tej jednostki przez punkt rozładowczy.

W symulacji pracy KWK musimy symulować proces gromadzenia się urobku w zbiornikach załadowczych i wyładowczym, szczególnie jest to istotne przy symulowaniu ruchu kopalnianej kolei podziemnej, jak też pracy urządzenia wyciągowego.

6. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

1. Opracowane i prezentowane modele w pełni umożliwiają symulację wszystkich układów kopalni węgla kamiennego biorących bezpośrednio udział w procesie wydobywczym.

2. Praca jest kontynuacją pracy [12] i wymaga opracowania algorytmów w celu oprogramowania. Opracowanie programów pozwoli na realizację symulacji, czyli otrzymanie historii stanów, które poddane obróbce statystycznej stanowić będą wynik symulacji.

3. Po opracowaniu programów przed właściwym stosowaniem prezentowane modele powinny być zweryfikowane na podstawie danych rzeczywistych uzyskanych z pracy kopalni w celu ustalenia wielkości odpowiednich współczynników.

4. Podane w pracy charakterystyki stanów układów kopalni węgla kamiennego są tak dobrane, aby w pełni odzwierciedliły rzeczywiste stany KWK, stąd odpowiedni dobór metod matematycznych o charakterze stochastycznym jak i deterministycznym.

LITERATURA

1. ANTONIAK J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalniach. Śląsk, Katowice 1976.
2. ANTONIAK J., WIANECKI A.: Badania procesów stochstycznych w technice górniczej przy zastosowaniu metod symulacji na maszynach cyfrowych. PTMTiS, Gliwice 1971.
3. CHUDEK M., WILCZYŃSKI S., ŻYLIŃSKI R.: Podstawy górnictwa. Śląsk, Katowice 1979.
4. FERENSZTAJN B.: Modernizacja i automatyzacja dołowego transportu urobku w kopalniach i Automatyzacja Górnictwa, 9/130 - 1979.
5. FIRGANEK B., PSZCZÓŁKA E.: Projektowanie transportu kopalnianego metodą symulacji na EMC. Projekty - Problemy 3/1970.

6. FIRGANEK B.: Symulacja komputerowa ruchu pociągów w dołowej sieci przewozowej. Przegląd Górniczy, 3/1972.
7. KARLIN S.: Mathematical Methods and Theory in Games Programing and Economics". Pergamon Press, London-Paris 1959.
8. KUCHARCZYK J. i inni: Modelowanie transportu kołowego w kopalni węgla kamiennego. Informator Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych. Warszawa 1966.
9. MENSEBACH W.: Podstawy inżynierii ruchu. WKŁ, Warszawa 1978.
10. SHANNON R.: Systems Simulation (tłumaczenie rosyjskie) Prince-Hall Inc. Englewood Cliffs, New York 1975.
11. SROCZYŃSKI E.: Problem konfiguracji początkowej w ruchu kopalnianej kolei podziemnej. Projekty-Problemy, 8/9, 1980.
12. FISOWSKI A., NIEMIEC G., SROCZYŃSKI E.: Charakterystyka symulacji kopalni na etapie jej budowy oraz eksploatacji złoża węgla kamiennego. Cz. I. Podstawy teoretyczne. ZN Pol. Śl. Seria Górnictwo, Gliwice (w druku).

Recenzent
Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sitko

ХАРАКТЕРИСТИКА СИМУЛЯЦИИ ШАХТЫ НА ЭТАПЕ ЕЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАЛЕЖЕЙ КАМЕННОГО УГЛЯ

Ч. II МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

Р е з ю м е

Вторая часть работы, описывающей симуляцию каменноугольной шахты рассматривает в особенности работу диспонента колесного транспорта, движение поездов по непересекающимися окружным путям, процесс накопления добытого угля в уравнительном резервуаре как погрезочном, так и разгрузочном. Для каждой из этих проблем разработана математическая модель с указанием входных и выходных параметров.

Представленные математические модели с программным обеспечением на ЕМС дают основания для симулирования работы шахты как на этапе ее строительства, так и на этапе эксплуатации залежей.

SIMULATION CHARACTERISTIC OF A MINE IN THE STAGE OF ITS CONSTRUCTION AND MINING OF A HARD COAL DEPOSIT
PART II.MODELLING OF THE INDIVIDUAL SYSTEMS IN A HARD COAL MINE

S u m m a r y

Part II of the paper on the simulation of a hard coal mine refers in particular to the work of the road transport disposer, train traffic in a no-collision roundabout route, the process of accumulation of the output in the equalizing tank, both loading and unloading one. For each of the above problems, a detailed mathematical model has been constructed including the input and oputput parameters.

The mathematical models presented, after programming for ENC, give the basis for the simulation of a hard coal mine operation, both in the stage of its construction and of the mining of a deposit.