ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: GÓRNICTWO z. 157 Nr kol. 934

Gustaw NIEMIEC
Marian ŻYTKA
Walenty ŻYTKA
Instytut Projektowania, Budowa Kopalń
i Ochrony Powierzchni Pol. Śl.

NIEZAWODNOŚĆ KOPALNI WĘGLA KAMIENNEGO JAKO KOMPLEKSU

Streszczenie. W artykule przedstawiono duże znaczenie czynnika, jakim jest niezawodność podsystemów eksploatacyjnych w projektowanym modelu kopalni - kompleksu. Zarówno wskaźniki techniczne, jak również ekonomiczne pracy kopalni określone są niezawodnością wypełniania zadanych funkcji. Wskaźnikami tymi mogą być: wydobycie kopalni i poszczególnych przodków eksploatacyjnych, wydajność, koszt własny czy też wskaźnik ekonomicznej efektywności inwestycji. Na niezawodność pracy kopalni mają wpływ awarie pracy poszczególnych podsystemów, spowodowane: niesprawnością wyposażenia maszynowego, środków automatyzacji, zaburzeniami geologicznymi, zagrożeniami. Wskazano na to, że podział kopalni na podsystemy, ogniwa, elementy, a także ustalenie związków między nimi powinien być dokonany pod kątem badania i oceny niezawodności całego kompleksu, jakim jest kopalnia. Każdy podsystem wymaga odrębnego opisu matematycznego z uwagi na swą specyfikę. Dla prawidłowej oceny niezawodności pracy kopalni konieczne jest zbudowanie matematycznego modelu niezawodności, który winien opierać się na zastosowaniach teorii niezawodności w powiązaniu z teorią masowej obsługi.

1. WPROWADZENIE

Jakościowa oraz ilościowa ocena wpływu czynnika niezawodności powinna być uwzględniona już w stadium projektowania modelu i struktury kopalni węgla kamiennego. Możliwość wstępnej oceny niezawodności podstawowych rozwiązań technicznych i technologicznych pozwala uniknąć wtedy dużych błędów. Następstwami tych błędów są: pogorszenie współczynników efektywności zakładu górniczego (kopalni) na długi okres jego eksploatacji z powodu niedokładnych danych geologicznych, prognozy rozwoju techniki i technologii, zawodności podsystemów i ich elementów, a także ze względu na przestarzałą strukturę zaprojektowanego systemu technologicznego. Wszystkie problemy niezawodności w końcowym rachunku powinny sprowadzać się do problemu niezawodności kompleksu "kopalnia".

Podstawowe techniczno-ekonomiczne wskaźniki w procesie eksploatacji kopalni węgla określane są przede wszystkim niezawodnością wypełnienia zadanych funkcji kompleksu. Zawodność wykonania zadanych funkcji kopalni wyraża się w różnych formach: duże lub małe awarie, przestoje ścian z przyczyn dużych lub małych zaburzeń geologicznych, niesprawność wyposażenia maszynowego, środków automatyzacji i innych technologicznych elementów, a także defektów w oddzielnych podsystemach kopalni węgla.

2. PROBLEM NIEZAWODNOŚCI W ŚWIETLE LITERATURY FACHOWEJ

Różne formy przejawiania się zawodności: niedostateczne dane geologiczne, niewłaściwa prognoza techniki i technologii ujemnie wpływają w końcowym rachunku na wskaźniki efektywności produkcji takie: jak wydajność pracy, wydobycie, koszt własny, wskaźnik ekonomiczny efektywności inwestycji.

Problem niezawodności w przemyśle węglowym ma najróżnorodniejsze aspekty, obejmujące wiele specyficznych zagadnień dla przedsiębiorstw wydobywczych. Można wydzielić z całokształtu tych problemów następujące podstawowe kierunki, które w znacznej mierze przedstawiają duże znaczenie dla praktyki projektowania górniczego:

- problem technicznej i eksploatacyjnej niezawodności różnego typu górniczego wyposażenia i środków automatyzacji,
- niezawodność oddzielnych technologicznych elementów i ogniw produkcji górniczej, np. wyrobiska, przeznaczone do wypełniania funkcji transportowych i wentylacyjnych, urządzenia wyciągowe skipowe i klatkowe w szybach, polowe punkty załadowcze itp.,
- niezawodność technologicznych procesów na poziomie wydobywczym takich jak: system wyrobisk udostępniających, system wyrobisk wentylacyjnych, system transportu urobku, system wyrobisk przygotowawczych w polu eksploatacyjnym itp.,
- wiarygodność danych geologicznych, jak również właściwa prognoza techniczna i technologiczna wydobycia węgla,
- niezawodność kompleksu technologicznego "kopalnia".

Szerokie badania i opublikowane prace z zagadnienia niezawodności w przemyśle węglowym mogą być podzielone na cztery zasadnicze grupy:

I grupa - badania technicznej i eksploatacyjnej niezawodności elementów (części) maszyn i urządzeń biorących udział w produkcji górniczej,

II grupa - badania niezawodności oddzielnych ogniw produkcji górniczej przeznaczonych do wypełniania różnych zadanych technologicznych funkcji,

III grupa - badanie niezawodności podstawowych podsystemów kopalni węgla, przeznaczonych do samodzielnego wypełniania zadanych technologicznych funkcji,

IV grupa - badanie wpływu niezawodności elementów oraz podsystemów eksploatacyjnych na niezawodność kompleksu "kopalnia", jak również czynników naturalnych i technicznych.

Najważniejsze prace z zakresu niezawodności w przemyśle węglowym związane są z grupą I. Badania dotyczyły problemu niezawodności takich przemysłowych wyrobów, jak różnego typu wyposażenia górniczego przodków eksploatacyjnych (kombajn, przenośnik, obudowa), środków transportu oddziałowego i głównego, środków mechanizacji punktów załadowczych ścian i polowych punktów załadowczych, środków automatyzacji i elektromechanicznego wyposażenia, sposobów i środków obudowy wyrobisk górniczych. Pierwsze badania tej grupy prac były ukierunkowane na określenie niezawodności wyposażenia górniczego i środków automatyzacji. Prace były prowadzone w Instytucie im. A.A. Skoczyńskiego, w Instytucie Giprouglemasz [4], w Moskiewskim Instytucie Górniczym [10], jak również w Polsce [14].

II grupa badań w kierunku niezawodności poświęcona jest studium obiektów technologicznych w kopalni węgla, przeznaczonych do samodzielnego wypełniania elementarnych procesów. Do takich obiektów można odnieść oddzielne wyrobiska górnicze (pionowe, poziome, oddziałowe), ścianowe punkty załadowcze, wyciąg skipowy itp. Przy projektowaniu kopalni ważne jest określenie niezawodności oddzielnych górniczych wyrobisk, przeznaczonych do indywidualnego wypełnienia technologicznych funkcji kopalni - podstawowych i pomocniczych [6, 11].

III grupa badań, tak jak i II, poświęcona jest studiom problemu niezawodności procesów w technologicznych obiektach [1]. Jednakże technologiczne obiekty w tym przypadku zobrazowane zostały jako samodzielne podsystemy typu: przodek wydobywczy, transport główny, transport oddziałowy itp.

W obecnym czasie czynione są próby metodologicznego uogólnienia i koncentracji problemu niezawodności kompleksu "kopalnia", będące przedmiotem badań IV grupy prac problemu niezawodności [1, 7, 8].

Biorąc pod uwagę badania niezawodności w 4 grupach, ocenę rozwiązań projektowych należałoby przeprowadzać w następujących kierunkach:

- badanie niezawodności technologicznych procesów wybierania w przodkach eksploatacyjnych,
- badanie oddzielnych elementów górniczej produkcji (wyposażenia, środków transportu i automatyzacji, wyrobisk itp.),
- niezawodność podsystemu "grupa przodków eksploatacyjnych w kopalni",
- określanie rezerwy zdolności przepustowej w podstawowych ogniwach technologicznych kompleksu "kopalnia".

3. NIEZAWODNOŚĆ KOPALNI JAKO KOMPLEKSU[x)]

Przy szerokim rozpatrywaniu problemu niezawodności w kopalniach węgla kamiennego pojawia się konieczność kwantytatywnej oceny niezawodności ko-

x) Przez kompleks, zgodnie z [16] rozumie się największy pod względem liczby elementów składowych i pod względem zależności system. Zważywszy, że kopalnia jest takim właśnie złożonym systemem, użyto określenia kompleks.

palni jako kompleksu. Głównym zadaniem przy tak ogólnie postawionym problemie jest wyróżnienie podstawowych systemów kopalni oraz ustalenie związków funkcyjnych między wyróżnionymi systemami.

Podział na systemy (a także podsystemy, ogniwa, elementy) oraz ustalenie związków między nimi powinny być dokonane pod kątem badania i oceny niezawodności kopalni.

Ze względu na różnorodność procesów technologicznych zachodzących w kopalni, ich wzajemne przenikanie się oraz zmiany procesów w czasie, zbudowanie strukturalnego schematu kopalni ujmującego wyróżnione systemy i funkcyjne między nimi zależności są zadaniem bardzo skomplikowanym.

Mając na uwadze, że podstawowym zadaniem działalności kopalni jest ekonomiczne i bezpieczne wydobycie określonej ilości węgla, rozpatrzmy (w bardzo uproszczony sposób), jakim oddziaływaniom podlega strumień urobku od przodku wydobywczego aż do wydobycia na powierzchnię [1]. Strumień urobku w ścianie jest oczywiście funkcją losową całej grupy oddziaływań (np. warunków naturalnych, zagrożeń, wyposażenia technicznego ściany). Jeśli oddziaływania te oznaczyć jako z_1, wówczas wielkość strumienia urobku w ścianie X_1 można symbolicznie zapisać:

$$X_1 = f_1(z_1) \tag{1}$$

Jeśli przez X_2 oznaczymy strumień urobku przeznaczony do transportu, a przez z_2 wszelkie oddziaływania, które na tę wielkość wpływają (np. rodzaj środka transportu oraz jego otoczenie, tzn. wyrobisko i górotwór), wówczas X_2 można traktować jako funkcję losową strumienia X_1 oraz oddziaływań z_2, co symbolicznie wyraża się wzorem:

$$X_2 = f_2(X_1, z_2) \tag{2}$$

Z kolei, strumień urobku wydobywany na powierzchnię X_3 można uważać za funkcję losową strumienia X_2 oraz oddziaływań z_3 (np. wyposażenie szybu oraz jego otoczenie), wyrażając to symbolicznie zależnością:

$$X_3 = f_3(X_2, z_3) \tag{3}$$

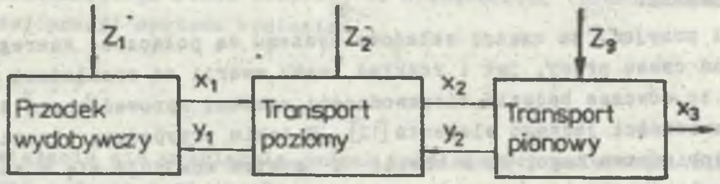
Nie wyczerpuje to jednak wszystkich istotnych wpływów na wielkość rozpatrywanego strumienia. Wiadomo bowiem, że na wielkość X_1 oddziałują niejako w odwrotnym kierunku "przeszkody" ze strony transportu poziomego, co można ująć w zależności:

$$y_1 = g_1(X_1, z_2) \tag{4}$$

Z kolei również na wielkość X_2 podobnie oddziałują "przeszkody" ze względu na transport pionowy, co można zapisać jako zależność:

$$y_2 = g_2(x_2, z_3) \tag{5}$$

Rozpatrzony proces ilustruje schemat zamieszczony na rys. 1.



Rys. 1. Proces wydobycia węgla

Fig. 1. Process of coal winning

W tak przedstawionym procesie wydobycia węgla rysuje się podział na trzy podstawowe systemy kopalni: przodek wydobywczy, transport poziomy i transport pionowy. Jest to, jak wcześniej zaznaczono, podział uproszczony. Celem jego przedstawienia było pokazanie, jak bardzo złożony jest schemat podziału kopalni z uwzględnieniem wszystkich głównych jej systemów i związków między nimi występujących (pod kątem niezawodności systemów i kopalni jako kompleksu).

Do prawidłowej oceny niezawodności pracy kopalni niezbędne jest zbudowanie matematycznego modelu niezawodności, który winien opierać się na zastosowaniach teorii niezawodności i w powiązaniu z teorią niezawodności na zastosowaniach teorii masowej obsługi.

Ocena niezawodności kopalni jako kompleksu wymaga oczywiście badania niezawodności jej wyróżnionych systemów, a więc zbudowania matematycznych modeli niezawodności tych systemów. Każdy system, ze względu na swą specyfikę, wymaga odrębnego, precyzyjnego opisu matematycznego. W przytoczonym wcześniej schemacie funkcje f_1, f_2, f_3 można traktować jako symboliczny zapis matematycznych modeli niezawodności poszczególnych systemów, natomiast wskaźnik niezawodności kopalni będzie wyrażał się poprzez zmienne x_i, y_j, z_k $(i = 1,2,3 \quad j = 1,2 \quad k = 1,2,3)$, czyli krótko

$$\varphi(x_i, y_j, z_k) \tag{6}$$

Budowanie matematycznych modeli wszelkich procesów wymaga zawsze pewnych uproszczeń, jednak z drugiej strony należy dążyć do jak najwierniejszego przybliżenia modelu do warunków rzeczywistych. Sprostanie tym wymaganiom bywa możliwe przy stosowaniu skomplikowanych środków i metod matematycznych.

Właściwa ocena niezawodności systemów, jak i całej kopalni wymaga traktowania większości zachodzących w kopalni procesów jako procesów losowych, a więc procesów zmieniających się w czasie. Do opisania i badania tego typu procesów używa się, ogólnie określając, teorii procesów stochastycznych (czyli losowych). Często w praktyce dąży się, by dowolny proces losowy przekształcić na tzw. proces Markowa. Losowe procesy Markowa są bowiem najprostsze w użyciu, co nie powinno jednak prowadzić do bezkrytycznego ich stosowania.

Jeżeli przyjąć, że części składowe systemu są połączone szeregowo oraz że rozkład czasu pracy, jak i rozkład czasu awarii są rozkładami wykładniczymi, to wówczas badanie niezawodności systemu sprowadza się do badania niezawodności jednego elementu [12]. W takim przypadku, określenie prawdopodobieństwa tego, że w chwili t system znajduje się w stanie pracy, czyli określenie podstawowej charakterystyki niezawodności systemu, uzyskuje się w prosty sposób, budując i rozwiązując układ dwóch równań różniczkowych, który "wiąże" dwa wyróżnione stany systemu - stan pracy i stan awarii. Prawdopodobieństwo $R(t)$ tego, że w chwili t system znajduje się w stanie pracy, wyraża się zależnością:

$$R(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\mu+\lambda} e^{-(\lambda+\mu)t} \tag{7}$$

gdzie λ oznacza intensywność powstawania awarii i jest to jednocześnie parametr wykładniczego rozkładu prawdopodobieństwa efektywnej pracy systemu, μ oznacza intensywność zanikania awarii i jest to również parametr wykładniczego rozkładu prawdopodobieństwa czasu awarii systemu.

Jeśli przyjmiemy, że $t \to \infty$, tzn. czas eksploatacji systemu jest dowolnie długi, wówczas:

$$R(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} \tag{8}$$

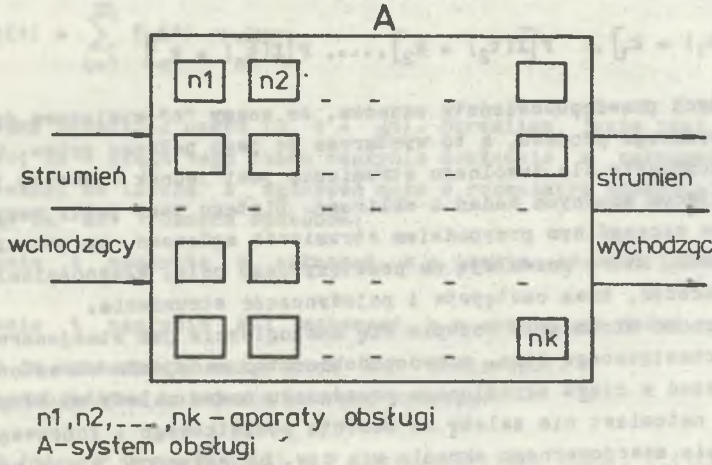
Pewnym uogólnieniem powyższych rozważań jest wprowadzenie do systemu połączeń równoległych między niektórymi elementami. Prowadzi to do wyróżnienia większej liczby stanów tego systemu i odpowiednio bardziej rozbudowanego układu równań różniczkowych. Prawdopodobieństwo pracy systemu określa się jako sumę prawdopodobieństw stanów, w których układ znajduje się w stanie pracy.
Taką charakterystykę niezawodności można przyjąć przy założeniu, że elementy systemu pracują niezależnie jeden od drugiego.

Dla systemów kopalni przyjęcie takiego założenia jest nierealne. Ponadto tak określona charakterystyka niezawodności jest wskaźnikiem pracy kopalni już istniejących i działających. Nie pozwala jednak oceniać niezawodności pracy kopalni w trakcie jej projektowania, czyli niejako aktywnie wpływać na poziom niezawodności kopalni. Matematyczny model niezawodności systemu winien odzwierciedlać przebieg całego procesu jako całości w zależności od "składowych" tego procesu.

Dla przykładu rozpatrzmy system: kombajn - przenośnik - obudowa. Niezawodność systemu można określić poprzez niezawodność podsystemu kombajn-przenośnik i niezawodność obudowy. Jeśli P_k oznaczać będzie prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy układu kombajn-przenośnik, P_o - prawdopodobieństwo bezawaryjnego stanu obudowy, to niezawodność (prawdopodobieństwo bezawaryjnej pracy) systemu wyniesie:

$$R = P_k \cdot P_o \tag{9}$$

Takie rozwiązanie nie uwzględnia jednak istniejących zależności między wyróżnionymi podsystemami (kombajn-przenośnik, obudowa). Zależność tę określają warunki górniczo-geologiczne, w szczególności wytrzymałość stropu, a więc i dopuszczalna odległość obudowy od kombajnu.
Aby ocenić niezawodność rozważanego systemu z uwzględnieniem wzajemnego oddziaływania jego elementów, korzysta się z modeli teorii masowej obsługi. Modele teorii masowej obsługi mają w pełni określoną strukturę, którą w prosty sposób można przedstawić na rys. 2.



Rys. 2. Kopalnia jako modelowy system masowej obsługi
Fig. 2. A coal mine as a model system of complex service

W przypadku modelu niezawodności kopalni traktujemy ją jako system obsługi; obiekty wchodzące w skład systemu są aparatami obsługi. Strumień zdarzeń, składający się ze zgłoszeń na obsługę, nazywamy strumieniem zgłoszeń. Z punktu widzenia niezawodności "zgłoszeniem" jest uszkodzenie systemu. Podstawowa charakterystyka niezawodności systemu, jaką jest prawdopodobieństwo czasu bezawaryjnej pracy, jest w tak zbudowanym modelu prawdopodobieństwem braku zgłoszeń w danym strumieniu. Podobnie inne pojęcia niezawodności można interpretować poprzez pojęcia teorii masowej obsługi. Jeśli np. znane są charakterystyki niezawodności wszystkich elementów, z których składa się system, to zadanie określenia kompleksowej niezawodności całego systemu może być sprowadzone do określenia charakteru strumienia wchodzącego. W szczególności, stosując jako charakterystykę niezawodności prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń, pracę całego systemu można charakteryzować jako prawdopodobieństwo tego, że nie ma zgłoszeń nieobsłużonych.

W dalszym ciągu zgłoszenie rozumiemy jako uszkodzenie, czas obsługi jako czas naprawy.

Proces nadchodzenia zgłoszeń do obsługi jest procesem stochastycznym. Strumień zgłoszeń może być opisany pewną funkcją losową $X(t)$, określającą liczbę zgłoszeń wymagających obsługi w przedziale czasu $(0,t)$. Oczywiście funkcja $X(t)$ jest dla każdego ustalonego t zmienną losową. Cechą szczególną tej zmiennej losowej jest to, że przyjmuje ona dla każdej wartości t tylko wartość równą liczbie całkowitej $k = 0,1,2,\ldots$, (jest nią liczba zgłoszeń). Dla pełnego opisu strumienia $x(t)$ należy dla dowolnej grupy liczb całkowitych nieujemnych $k_1,k_2,\ldots,k_n$ i czasów $t_1,t_2,\ldots,t_n$ znać prawdopodobieństwa:

$$P\left[X(t_1) = k_1\right], \quad P\left[X(t_2) = k_2\right], \ldots, P\left[X(t_n) = k_n\right] \tag{10}$$

Znajomość tych prawdopodobieństw oznacza, że znamy "n"-wymiarową dystrybuantę rozważanego procesu, a to wystarcza do jego pełnego opisu. Określenie dystrybuanty dla dowolnego strumienia jest jednak zadaniem trudnym, wymagającym żmudnych badań i obliczeń. Dlatego też, jeśli mamy do czynienia ze szczególnym przypadkiem strumienia zgłoszeń, określamy takie jego własności, które pozwalają na prostszy jego opis. Własnościami tymi są: stacjonarność, brak następstw i pojedynczość strumienia.

Stacjonarność strumienia rozumie się analogicznie jak stacjonarność procesu stochastycznego (tzn. prawdopodobieństwo nadejścia określonej liczby zgłoszeń w ciągu określonego przedziału czasu zależy od długości przedziału, natomiast nie zależy od momentu początkowego i końcowego). Dla strumienia stacjonarnego określa się tzw. intensywność strumienia:

$$\lambda = \lim_{t \to 0} \frac{\Omega(t)}{t} \tag{11}$$

gdzie $\Omega(t)$ prawdopodobieństwo tego, że w ciągu czasu t nadejdzie przynajmniej jedno zgłoszenie. Dowodzi się, że dla strumieni stacjonarnych granica ta istnieje.

Należy podkreślić, że stacjonarność stanowi cechę wielu realnych strumieni zgłoszeń.

Brak następstw oznacza, że liczba nadchodzących zgłoszeń jest strumieniem bez następstw, tzn. że liczba nadchodzących zgłoszeń nie zależy od liczby zgłoszeń wcześniej przyjętych.

Pojedynczość strumienia oznacza, że w małym przedziale czasu może nadejść tylko jedno zgłoszenie, tzn. nie jest możliwe, (lub prawie nie jest możliwe) jednoczesne pojawienie się dwu lub więcej zgłoszeń [3].

Oznaczmy przez $P_k(t)$ prawdopodobieństwo tego, że do czasu t nadeszło dokładnie k zgłoszeń, stąd $P_o(t)$ oznacza, że do chwili t nie nadeszło ani jedno zgłoszenie, $P_1(t)$ - że do chwili t nadeszło jedno zgłoszenie itd.

Oczywiście:

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k(t) = 1 \tag{12}$$

Ponadto z określenia $\Omega(t)$ wynika również, że:

$$\Omega(t) = \sum_{k=1}^{\infty} P_k(t) \tag{13}$$

Rozpatrzmy przedział czasu $(0, t + \Delta t)$. Określimy, jakie jest prawdopodobieństwo, że w ciągu tego czasu napłynie dokładnie k zgłoszeń. Nietrudno zauważyć, że liczba k zgłoszeń może w rozważanym przedziale czasu napłynąć na $k+1$ różnych sposobów:

- w czasie t napłynie k zgłoszeń, a w czasie Δt ani jedno zgłoszenie,
- w czasie t napłynie $k-1$ zgłoszeń, a w czasie Δt jedno zgłoszenie

itd. aż do wyczerpania wszystkich $k+1$ możliwości.

Prawdopodobieństwa kolejnych zdarzeń wynoszą:

$$P_k(t) \cdot P_o(\Delta t),\ P_{k-1}(t) \cdot P_1(\Delta t), \ldots, P_1 t/P_{k-1}(\Delta t),\ P_o(t)P_k(\Delta t) \tag{14}$$

Rozważane przypadki nadejścia k zgłoszeń wyłączają się, a więc, korzystając ze wzoru na prawdopodobieństwo całkowite, mamy:

$$P_k(t + \Delta t) = P_i(t)P_{k-i}(\Delta t) \tag{15}$$

Ponieważ strumień z założenia jest pojedynczy, więc: $\sum_{i=0}^{k-2} P_i(t)P_{k-i}(\Delta t)$ zastępujemy nieskończenie małą rzędu wyższego niż Δt $\sum$ a więc:

$$P_k(t + \Delta t) = P_k(t)P_o(\Delta t) + P_{k-1}(t)P_1(\Delta t) + O(\Delta t) \tag{16}$$

Wyznaczamy $P_0(\Delta t)$ i $P_1(\Delta t)$.
Z (11) wynika, że:

$$\Omega(t) = \lambda\,\Delta t + O(\Delta t) \tag{17}$$

natomiast z określenia $\Omega(t)$ mamy:

$$\Omega(\Delta t) = 1 - P_0(\Delta t) \tag{18}$$

Czyli $P_0(\Delta t) = 1 - \lambda\,\Delta t + O(\Delta t)$. (19)

z kolei:

$$\Omega(\Delta t) = \sum_{k=1}^{\infty} P_k(\Delta t) = P_1(\Delta t) + \sum_{k=1}^{\infty} P_k(\Delta t) = P_1(\Delta t) + O(\Delta t) \tag{20}$$

Czyli $P_1(\Delta t) = \Omega(\Delta t) + O(\Delta t)$ (21)

i ostatecznie:

$$P_1(\Delta t) = \lambda\,\Delta t + O(\Delta t) \tag{22}$$

Uzyskane wartości na $P_0(\Delta t)$ i $P_1(\Delta t)$ wstawimy do (16) i uzyskujemy:

$$P_k(t+\Delta t) = P_k(t)\left[1 - \lambda\Delta t + O(\Delta t)\right] + P_{k-1}(t)\left[\lambda\Delta t + O(\Delta t)\right] \tag{23}$$

Po prostym przekształceniu uzyskujemy równość:

$$P_k(t+\Delta t) - P_k(t) = \Delta t\left[-\lambda P_k(t) + \lambda P_{k-2}(t)\right] + O(\Delta t) \tag{24}$$

Dzieląc ostatnią równość przez Δt i przechodząc do granicy przy $\Delta t \to 0$, otrzymujemy:

$$P_k(t) = -\lambda P_k(t) + \lambda P_{k-1}(t) \qquad k = 1,2,\ldots, \tag{25}$$

Ponieważ $P_k(t)$ wyraża się poprzez $P_{k-1}(t)$, należy więc wyznaczyć osobno $P_0(t)$.
Oczywista jest równość:

$$P_0(t+\Delta t) = P_0(t)\cdot P_0(\Delta t) \tag{26}$$

Ale

$$P_0(\Delta t) = 1 - \lambda\,\Delta t + O(\Delta t) \tag{27}$$

czyli

$$P_o(t+\Delta t) = P_o(t)\left[1 - \lambda\Delta t + O(\Delta t)\right] \tag{28}$$

Po przekształceniu i przejściu do granicy przy $t \to 0$ uzyskujemy równanie:

$$P_o(t) = -\lambda P_o(t) \tag{29}$$

Ostatecznie uzyskujemy rekurencyjny układ równań różniczkowych:

$$\begin{aligned} &P_o(t) + \lambda P_o(t) = 0 \\ &P_1(t) + \lambda P_1(t) = \lambda P_o(t) \\ &P_2(t) + \lambda P_2(t) = \lambda P_1(t) \\ &\vdots \\ &P_k(t) + \lambda P_k(t) = \lambda P_{k-1}(t) \end{aligned} \tag{30}$$

z warunkami początkowymi $P_o(0) = 1$, $P_1(0) = P_2(0) = \ldots = P_k(0) = \ldots = 0$. Rozwiązując ten układ (np. metodą funkcji tworzących), znajdujemy funkcje $P_k(t)$ dla $k = 0,1,2,\ldots$, a tym samym mamy rozkład strumienia zgłoszeń.

Innymi interesującymi charakterystykami strumienia zgłoszeń są:

- funkcja $U(t)$ oznaczająca czas potrzebny do obsługi wszystkich zgłoszeń, które znajdują się w systemie w momencie t; jeśli $U(t) > 0$, to system uważa się za zajęty, gdy $U(t) = 0$, system jest swobodny,
- funkcja $\delta(t)$ oznaczająca liczbę zgłoszeń opuszczających system w przedziale czasu $(0,t)$,
- $\alpha(t)$ funkcja oznaczająca liczbę zgłoszeń, która napłynęła do systemu w przedziale czasu $(0,t)$.

W teorii masowej obsługi wyróżnia się typy systemów w zależności od charakteru procesów przebiegających w systemie [13, 15]. Stąd też modele te mogą służyć do matematycznego opisania procesów zachodzących w poszczególnych systemach kopalni pod kątem badania niezawodności tych systemów.

4. PODSUMOWANIE

Niezawodność podstawowych systemów produkcyjnych w kopalni węgla kamiennego takich jak:

- front eksploatacyjny,
- transport główny urobku,
- transport pionowy urobku,

oraz systemów pomocniczych:

- wentylacja,
- odwadnianie,
- transport załogi,

decyduje o wypełnieniu z jednej strony zadań produkcyjnych, a z drugiej o poziomie wskaźników ekonomicznych eksploatacji węgla kamiennego.

Ocena niezawodności kopalni jako kompleksu wymaga zbadania niezawodności jej wyróżnionych systemów produkcyjnych i pomocniczych, a więc zbudowania matematycznych modeli tych systemów.

Stosowanie modeli teorii masowej obsługi do określenia charakterystyk niezawodnosci systemów kopalni pozwala uwzględnić różnorodność procesów technologicznych zachodzących w kopalni, ich wzajemne przenikanie się oraz zmiany w czasie.

LITERATURA

[1] Burczakow A.A., Worobiew B.M., Biszele I.W.: Niezawodność kopalni jako systemu technologicznego. Ugod, 1967 nr 5.

[2] Glinczew A.W.: Ekonomiczne problemy niezawodności i dużej trwałości wyrobów maszynowych. Ekonomika, Moskwa 1963.

[3] Gnedenko B.W., Bielajew J.K., Sołowjew A.D.: Metody matematyczne w teorii niezawodności. Nauka, Moskwa 1965.

[4] Gridin A.D.: Podstawowe kierunki podwyższenia niezawodności wyposażenia górniczego. Górnicze maszyny i automatyka. Niedra, Moskwa 1963, wyd. 9.

[5] Dokukin A.W., Istomin W.N.: Dynamika maszyn górniczych i jej wpływ na niezawodność i trwałość. Wyd. IDG im. A.A. Skoczyńskiego, Moskwa 1963.

[6] Kacanow I.N., Cejtlin G.M.: Problem niezawodności obudów kapitalnych wyrobisk górniczych kopalń węgla. Projektowanie i budowa przedsiębiorstw górniczych. CNIIET Ugol, Moskwa 1971, wyd. 9.

[7] Kurnosow A.M., Adiłow K.N.: Metodyka oceny niezawodności technologicznych systemów przy wyborze optymalnego sposobu rozcinki obszaru górniczego. Wyd. IDG im A.A. Skoczyńskiego, Moskwa 1978.

[8] Meszczaniłow L.S., Krass I.A., Tarasowa T.I.: Optymalizacja niezawodności pracy wyposażenia. Modelowanie procesów produkcyjnych i zarządzania. Nauka, Nowosybirsk 1968.

[9] Mirasznikow S.I., Lebiediew N.I.: Modelowanie procesu przebudowy wyrobisk metodą teorii masowej obsługi. Wiadomości "Gornyj Żurnał". 1971, nr 3.

[10] Topczeiw A.W., Getopanow W.N., Sołod W.I., Szpilberg I.L.: Niezawodność maszyn górniczych i kompleksów. Nedra, Moskwa 1968.

[11] Petrenko W.E., Worobew B.M., Szibaew E.W.: Ekonomiczno-matematyczna model niezawodności wyrobisk górniczych kopalni. Ugol Ukrainy, 1972, nr 8.

[12] Petrenko W.E., Szibaew E.W. Gugel M.L.: O podwyższaniu niezawodności projektowanych rozwiązań kopalni jako technicznego systemu. Ugol 1970, nr 7.

[13] L. Kleinrock: Teoria masowej obsługi, 1979.

[14] Winnicki P.: Przegląd Górniczy, 1967, Nr 7-8.
[15] Chinczyn A.J.: Raboty po matiematiczeskoj tieorii masowogo obsłużiwanija, 1963.
[16] Benes J.: Teoria systemów. PWN, Warszawa 1979.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sitko

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1987 r.

НАДЁЖНОСТЬ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ КАК СИСТЕМЫ

Р е з ю м е

В статье указано на существенное значение эксплуатационной надёжности подсистемы шахты при проектировании её модели как системы. Как технические, так и экономические показатели работы шахты зависит от надёжности выполнения заданных ей функций. Такими показателями могут быть : добыча с очистных забоев, производительность, себестоимость или же показатель экономической эффективности капиталовложений. На надёжность работы шахты влияет аварийная работа отдельных подсистем, вызванная неисправностями работы оборудования, средств автоматизации, геологические нарушения, опасное поведение горного массива. В статье указывается, что в шахте выделяются увязанные между собой подсистемы, участки, элементы с целью исследования и оценки надёжности шахты как целой системы. Каждая подсистема является специфичной и требует отдельного математического описания. Для правильной оценки работы шахты необходимо построить математическую модель надёжности шахты на базе теории надёжности и теории массового обслуживания.

RELIABILITY OF A COAL-MINE AS A COMPLEX

S u m m a r y

The paper presents the effect of reliability of a mine s operational systems on technical and economic indices of the work of the mine.

While designing coal mines reliability characteristics of particular systems and parts of the mine and also the mine as aw whole should be taken into account. It has been indicated that when defining reliability characteristics a variety of technological processes occurring in the mine should be considered, as well as their interpenetration and changes in time. Therefore it is necessary to treat the mine s activity as a stochastic process if the reliability is to be properly estimated.

To describe the mine's work as processes occurring in time, models of reliability theory in connection with queueing theory are suggested. A simplified scheme of a mine s division into three basic systems and their interdependencies - in respect of estimation of the particular systems reliability has been presented.