

Stanisław KRZEMIEŃ

Instytut Organizacji i Ekonomiki Górnictwa
Politechnika Śląska

ZAGROŻENIA LITOSFERYCZNE W UJĘCIU TEORII PROCESÓW LOSOWYCH

Streszczenie. Artykuł zawiera matematyczne podstawy prognozowania zdarzeń niebezpiecznych w wyrobiskach podziemnych, na które oddziałują zewnętrzne czynniki wymuszające. Są nimi procesy i zjawiska zachodzące w górotworze, należące w systematyce zagrożeń górniczych do grupy zagrożeń litosferycznych. Zagrożenia litosferyczne nie są bezpośrednio obserwowalne, a towarzyszące im procesy fizykochemiczne mają złożony charakter i zróżnicowany mechanizm aktywacji. Większość wielkości opisujących te procesy ulega zmianom z upływem czasu, przy czym zmiany te mają generalnie charakter losowy. Są to procesy losowe (stochastyczne), zależne od nielosowego parametru t .

Wychodząc z tego założenia, rozpatrzono jeden z procesów losowych, zwany punktowym procesem Markowa, z czasem ciągłym. Korzystając z własności procesu Markowa oraz z równań Kołmogorowa, podano wzory na wyznaczenie prawdopodobieństwa znajdowania się obiektu zagrożonego w ustalonej chwili w jednym z możliwych stanów, ze względu na intensywność występujących w jego otoczeniu zjawisk litosferycznych. Jako kryteria intensywności stanu zagrożenia obiektu w chwili t zaproponowano wykorzystanie identyfikatorów cech zjawisk zagrożeniowych, zwanych zwiastunami lub prekursorami niebezpiecznych wydarzeń, przy czym w zawartym artykule przykładzie ograniczono się tylko do jednego z zagrożeń litosferycznych, tj. do zagrożenia tapaniami. Źródła wyznaczenia identyfikatorów cech tego zagrożenia stanowią metody obserwacyjno-dosлідczalne, takie jak: metoda mikrosejsmologiczna, metoda sejsmookustyczna, metoda sondażu wiertniczego i inne.

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych pojęć teorii bezpieczeństwa pracy jest zagrożenie bezpieczeństwa. Pojęcie to ma oczywiście sens tylko wówczas, kiedy termin bezpieczeństwo rozumiemy samoistnie (automatycznie), a nie jako synonim braku zagrożeń. W przeciwnym razie byłaby to tautologia. Bezpieczeństwo należy do wyższych potrzeb człowieka, obok takich, jak potrzeby fizjologiczne, przynależności, samorealizacji itp. Pod pojęciem zagrożenia bezpieczeństwa rozumiemy potencjalną możliwość wystąpienia w górnictwym procesie technologicznym zdarzeń zagrożeniowych, zwanych także zdarzeniami awaryjno-wypadkowymi [4], powodującymi:

- utratę życia lub zdrowia górnika zajmującego się obsługiwaniem systemu technologicznego lub korzystającego z usług systemu,

- samounicestwienie systemu,
- zniszczenie systemów współdziałających.

Dwa ostatnie przypadki dotyczą tzw. awarii wypadkowych, zwanych także sytuacjami quasi-wypadkowymi.

W opracowaniu [8] stwierdzono, że "parametry elementu środowiska, który może stanowić zagrożenie, muszą odpowiadać warunkom fizyko-chemicznym, pozwalającym na zajście niebezpiecznego wydarzenia, czyli na przejście zagrożenia w zdarzenie kinetyczne; musi także wystąpić czynnik wyzwalający to zdarzenie". Innymi słowy: środowisko lub jego dowolny element muszą osiągnąć wystarczający stan gotowości energetycznej, aby pod wpływem pewnego czynnika wyzwalającego zaszło niebezpieczne wydarzenie. Czynnik wyzwalający w dalszym ciągu rozważań będziemy nazywali czynnikiem wymuszającym lub inicjatorem. Inicjatorami mogą być uszkodzenia zaistniałe w systemie lub błędy popełnione przez człowieka. Czynniki wymuszające mogą mieć charakter wewnętrzny lub zewnętrzny w stosunku do elementu systemu, zależny lub niezależny od człowieka (w rozpatrywanym momencie czasowym). Samoistnienie stanu zagrożenia bezpieczeństwa nie może spowodować zdarzenia zagrożeniowego bez wystąpienia czynnika wymuszającego.

W systematyce zagrożeń górniczych wyróżnia się dwie podstawowe grupy zagrożeń bezpieczeństwa: naturalne i technologiczne [9], [10]. Do pierwszej grupy zalicza się zagrożenia występujące w związku z naruszeniem robotami górniczymi pierwotnego stanu równowagi mechanicznej w górotworze. Wywołane tym sposobem siły powodują przepływ masy, energii i pędu wyrobisk górniczych. Do drugiej grupy zagrożeń należą te, których występowanie wiąże się ściśle z technologią prowadzenia robót górniczych i stosowanymi w związku z tym środkami technicznymi. W pracy [7] przeprowadzono krytyczną analizę dotychczas stosowanych pojęć zagrożenia naturalne i zagrożenia technologiczne, zwłaszcza ze względu na etymologię przymiotnika "naturalne". Słusznie zauważono, że przyjęty podział i nazewnictwo nie ułatwia analizy mechanizmów powstawania poszczególnych zagrożeń i nie stanowi wystarczającej podstawy do badań systemowych. Pojęcie zagrożenia naturalne nie spotyka się w literaturze zagranicznej. Zaproponowano w związku z tym nowy podział, w którym pojęciami podstawowymi są zagrożenia: litosferyczne, atmosferyczne i technosferyczne [7]. W takim ujęciu do zagrożeń litosferycznych zaliczono: zagrożenia skalne (zwały i tapania), zagrożenia pyłowe (wyrzuty rozdrobnionych skał), zagrożenia wodne (wycieki wody, wdarcia wody), zagrożenia gazowe (wypływy gazów, wyrzuty gazów), zagrożenia cieplne (dopływ ciepła geotermicznego, pożary endogeniczne) [7].

2. ZAGROŻENIA LITOSFERYCZNE JAKO ZDARZENIA LOSOWE

Zagrożenia litosferyczne, a zwłaszcza towarzyszące im zjawiska (prekursory) mają swoje źródło w górotworze. Przebiegające w nim procesy fizyko-chemiczne mają złożony charakter i zróżnicowany mechanizm aktywacji. Ich przebiegu, mimo coraz wnikliwszych badań, nie potrafimy z góry zdefiniować, a zwłaszcza podać ich dokładnej liczbowej charakterystyki w przyszłym momencie czasu. Większość wielkości (parametrów) opisujących te procesy ulega zmianom z upływem czasu, przy czym zmiany te mają generalnie charakter losowy (przypadkowy). Są to więc procesy losowe (stochastyczne), zależne od nielosowego parametru t . Procesy te w znacznie większym stopniu zależą od czynników geologicznych (np. własności skał, zaburzenia tektoniczne, głębokość zalegania złoże) oraz od czynników technicznych (np. rozmieszczenie wyrobisk, porządek wybierania, metody kierowania stropem itp.), niż od postępowania i zachowania się człowieka. Postępowanie człowieka ma natomiast istotny wpływ na przebieg zjawisk w zagrożeniach technosferycznych, a także na ogólną profilaktykę przeciwważeniową (zwłaszcza etap projektowania).

Losowy charakter zagrożeń naturalnych stwierdzany jest w licznych opracowaniach, między innymi w [5].

2.1. Matematyczne podstawy prognozowania zdarzeń zagrożeniowych z wykorzystaniem teorii procesów Markowa

Jeżeli T jest zbiorem przeliczalnym postaci $T = \{1.2....\}$, wówczas proces stochastyczny X możemy traktować jako ciąg losowy o wyrazach X_1, X_2, \dots, X_n . Badaniu własności ciągów zmiennych losowych $\{X_n\}$ przy pewnym osłabieniu założenia niezależności zmiennych losowych $\{X_n\}$ poświęcony jest dział rachunku prawdopodobieństwa, zwany łańcuchami Markowa [3]. Z teorii łańcuchów Markowa wywodzi się proces losowy X , nazwany procesem Markowa. Proces losowy $\{X(t)\}$, $t \in T$ nazywa się procesem Markowa, gdy dla dowolnego skończonego ciągu chwil

$$t_1 < t_2 < \dots < t_n \quad (t_1, t_2, \dots, t_n \in T) \quad (1)$$

i dla dowolnych liczb rzeczywistych x_1, x_2, \dots, x_n , zachodzi równość

$$\begin{aligned} P [X(t_n) < x_n | X(t_{n-1}) = x_{n-1}, X(t_{n-2}) = x_{n-2}, \dots, X(t_1) = x_1] \\ = P [X(t_n) = x_n | X(t_{n-1}) = x_{n-1}] \end{aligned} \quad (2)$$

Z definicji tej wynika, że proces losowy $\{X(t)\}$, $t \in T$ jest procesem Markowa, gdy warunkowy rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej $X(t_n)$ zależy wyłącznie od rozkładu prawdopodobieństwa jednej ze zmiennych losowych $X(t_{n-1})$. Własności procesu Markowa w chwili t_n nie zależą od wielkości, jakie proces przyjmował w chwilach $t_1, t_2, \dots, t_{(n-2)}$. Innymi słowy, proces Markowa jest to taki proces stochastyczny, dla którego przyszłość zależy tylko od teraźniejszości i nie zależy od przeszłości.

Proces Markowa jest w pełni scharakteryzowany przez dystrybuantę warunkową [2]

$$F(s, t, x, y) = P[X(t) < x | X(s) = y], \quad s < t \quad (3)$$

albo też dystrybuantę wektora losowego $\{X(s), X(t)\}$ wraz z dystrybuantą "początkową"

$$F(s, y) = P[X(s) < y] \quad (4)$$

Przykładowo [6] proces Markowa może być rozważany jako probabilistyczny odpowiednik ruchu punktu materialnego wzdłuż zdeterminowanej trajektorii. Położenie ruchomego punktu materialnego w chwili t_2 jest całkowicie określone przez położenie w dowolnej chwili wcześniejszej $t_1 < t_2$ i nie wymaga znajomości przebiegu ruchu w czasie poprzedzającym chwilę t_1 . Zgodnie z podziałem [2] procesów losowych rozróżniamy:

- łańcuchy Markowa,
- ciągi Markowa,
- punktowe procesy Markowa (z czasem ciągłym),
- procesy Markowa z czasem ciągłym (i przestrzenią stanów będącą przedziałem).

W dalszym ciągu zajmować się będziemy punktowymi procesami Markowa określonymi na przedziale $T = [t_0, \infty)$ z przestrzenią stanów $S = \{0, 1, 2, \dots\}$. Realizacje punktowego procesu Markowa są funkcjami przedziałami stałymi, a ich wykresy są liniami schodkowymi.

Dla punktowego procesu Markowa prawdopodobieństwa przejścia

$$P_{ij}(s, t) = [P X(t) = j | X(s) = i] \quad (5)$$

$$t \geq s \quad 1, j = 0, 1, 2, \dots$$

spełniają związek:

$$p_{ij}(s, t) = \sum_{k=0}^{\infty} p_{ik}(s, t_1) p_{kj}(t_1, t), \quad s < t_1 < t \quad (6)$$

zwane równaniami Smoluchowskiego - Chapmana - Kołmogorowa. Ponadto dla każdego i ($i = 0, 1, 2, \dots$) zachodzi równość

$$\sum_{j=0}^{\infty} p_{ij}(s, t) = 1 \quad (7)$$

Jeśli punktowy proces Markowa jest jednorodny, to

$$p_{ij}(s, t) = p_{ij}(\tau), \quad \tau = t - s \quad (8)$$

Określamy funkcje $\lambda_i(t)$ zwane intensywnościami przejścia procesu, a mianowicie:

$$\lambda_i(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} [1 - p_{ii}(t, t + \Delta t)] \quad (9)$$

$$i = 0, 1, 2, \dots$$

przy jednostajnej zbieżności ze względu na t oraz

$$\lambda_{ij}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} p_{ij}(t, t + \Delta t), \quad (10)$$

$$i, j = 0, 1, 2, \dots \quad i \neq j$$

przy jednostajnej zbieżności ze względu na t i jednostajnej zbieżności ze względu na i dla każdego ustalonego j .

Z równań Smoluchowskiego - Chapmana - Kołmogorowa wynika, że:

$$p_{ij}(s, t + \Delta t) = \sum_{k=0}^{\infty} p_{ik}(s, t) p_{kj}(t, t + \Delta t) \quad (11)$$

Stąd:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta t} [p_{ij}(s, t + \Delta t) - p_{ij}(s, t)] &= \frac{1}{\Delta t} p_{ij}(s, t) [p_{jj}(t, t + \Delta t) - 1] + \\ &+ \sum_{k=j}^{\infty} \frac{1}{\Delta t} p_{ik}(s, t) p_{kj}(t, t + \Delta t) \end{aligned} \quad (12)$$

Jest to układ nieskończenie wielu równań ($j = 1, 2, 3, \dots$).

Przechodząc do granicy, gdy $\Delta t \rightarrow 0$, otrzymamy stąd oraz na podstawie wzorów (9) i (10) równania, które noszą nazwę prospektywnych równań Kołmogorowa (s - ustalone, i - stałe),

$$\frac{\partial p_{ij}(s, t)}{\partial t} = -\lambda_j(t)p_{ij}(s, t) + \sum_{k=j} p_{ik}(s, t)\lambda_{kj}(t) \quad (13)$$

Prospektywne równania Kołmogorowa rozpatruje się łącznie z warunkami początkowymi - zazwyczaj w postaci:

$$p_{ij}(s, s) = \begin{cases} 1 & \text{dla } j = i \\ 0 & \text{dla } j \neq i \end{cases} \quad (14)$$

Analogicznie z zależności:

$$p_{ij}(s - \Delta s, t) = \sum_{k=0} p_{ik}(s - \Delta s, s)p_{kj}(s, t) \quad (15)$$

otrzymujemy po przejściu do granicy, gdy $\Delta s \rightarrow \infty$, retrospektywne równania Kołmogorowa (t - ustalone, j - stałe)

$$\frac{\partial p_{ij}(s, t)}{\partial s} = \lambda_i(t)p_{ij}(s, t) - \sum_{k=i} \lambda_{ik}(s)p_{kj}(s, t) \quad (16)$$

wraz z warunkami początkowymi:

$$p_{ij}(t, t) = \begin{cases} 1 & \text{dla } i = j \\ 0 & \text{dla } i \neq j \end{cases}$$

Jeżeli proces Markowa jest jednorodny, to funkcje λ_i , λ_{ij} są stałe (niezależne od t). Wzory (9), (10) mają wtedy postać:

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} [1 - p_{ii}(\Delta t)] = \lambda_i \quad (17)$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} p_{ij}(\Delta t) = \lambda_{ij} \quad (18)$$

Zapiszmy funkcje

$$p_j(t) = P(X_t = i) \quad (19)$$

Jeżeli X jest jednorodnym procesem Markowa, zbieżność we wzorze (18) jest jednostajna względem i , to funkcje p_j spełniają układ równań różniczkowych

$$P_j'(t) = -\lambda_1 P_j(t) + \sum \lambda_{1j} P_1(t) \quad (20)$$

Funkcje λ_1 , λ_{1j} nazywamy intensywnościami procesu X . Uzasadnia to fakt, że funkcje λ_1 oraz λ_{1j} są pochodnymi odpowiednio funkcji p_{11} oraz p_{1j} dla $t = s$. Pochodna charakteryzuje szybkość zmian, czyli innymi słowy: intensywność zmian.

3. ZASTOSOWANIE PROCESÓW MARKOWA W PROGNOZOWANIU NIEZAWODNOŚCI BEZPIECZEŃSTWA OBIEKTÓW GÓRNICZYCH

Zastosowanie procesów Markowa w badaniach bezpieczeństwa pracy (zagrożeń górniczych) pozwala na wyznaczenie prawdopodobieństwa znajdowania się obiektu zagrożonego w ustalonej chwili w jednym z wielu możliwych stanów ze względu na występujące w jego otoczeniu zjawiska litosferyczne. Jako kryteria znajdowania się obiektu w stanie zagrożenia, w chwili t , możemy przyjmować np. kryteria doświadczalnie-obszernacyjne sformułowane zgodnie z rozpoznaniem cech genetycznych poszczególnych zagrożeń litosferycznych [10]. Na przykład dla zagrożenia tapaniami, należącego do grupy zagrożeń skalnych, możemy przyjąć kryteria doświadczalnie-obszernacyjne obejmujące:

- kryterium warunków górniczo-geologicznych,
- kryterium mikrosejsmologiczne,
- kryterium sejsmoakustyczne,
- kryterium sondażu wiertniczego itp.

Sposób oceny i doboru cech genetycznych dla poszczególnych zagrożeń litosferycznych przedstawiony będzie w odrębnym opracowaniu.

Rozwiązując układ równań różniczkowych (20) ze stałymi współczynnikami, którymi są intensywności przejść między odpowiednimi stanami, stosujemy przekształcenie Laplace'a, dzięki czemu układ równań różniczkowych wprowadza się do układu liniowych równań algebraicznych [6]. Dla rozwiązań praktycznych stosujemy następujące postępowanie [1]:

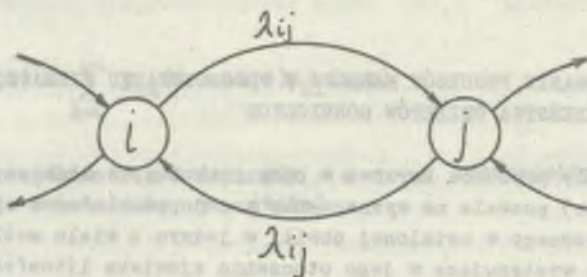
1. Określamy zbiór stanów systemu, intensywność przejść między stanami oraz warunki początkowe - dla wygody posługujemy się grafem.

2. Zapisujemy równania Kołmogorowa (20).
3. Wyznaczamy układ równań algebraicznych dla transformat Laplace'a:

$$\tilde{P}_0(s), \dots, \tilde{P}_n(s)$$

4. Rozwiązujemy powyższy układ stosując wzory Cramera lub rachunek macierzowy.
5. Wyznaczamy transformaty odwrotne lub co najmniej wartość oczekiwaną czasu przebywania w określonych stanach.

Stany obiektów zagrożonych tapnięciem po ich identyfikacji będziemy numerowali liczbą 0 i początkowymi liczbami naturalnymi. Cyfrę 0 otrzyma stan obiektu zwany wyjściowym, który może być traktowany jako stan prawidłowy (bezpieczny), a kolejne liczby określają będą stany przejściowe. Dla wygody przedstawimy stany systemu jako wierzchołki grafu, którego krawędzie (skierowane) tworzą możliwe przejścia między stanami (rys. 1).



Rys. 1. Przejścia między stanami zagrożenia wraz z ich intensywnościami
Fig. 1. Transitions between hazard states and their intensities

W wierzchołkach oznaczamy numery stanu wyjściowego i osiąganego, i, j, \dots . Intensywność niepozostawania w i -tym stanie oznaczamy:

$$\lambda_i = \sum \lambda_{ij} < \infty \quad (21)$$

Znając intensywność przejść możemy zapisać równania Kołmogorowa (20).

$$P_j'(t) = -\lambda_j P_j(t) + \sum \lambda_{ij} P_i(t)$$

$$j = 0, \dots, n,$$

których rozwiązaniami są prawdopodobieństwa $P_i(t)$, ($i = 0, 1, \dots, m$) znajdowania się obiektu w stanie i w chwili $t \geq 0$.

Układ równań Kołmogorowa rozwiązujemy za pomocą następujących warunków początkowych:

$$P_i(0) = p_i \quad i = 0, \dots, n \quad (22)$$

Rozwiązania spełniają dla każdego $t \geq 0$ warunek:

$$\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1 \quad (23)$$

Jeżeli prawdopodobieństwa znajdowania się elementów systemu w poszczególnych stanach są niezależne od czasu, to wyznacza się je z równania (20) podstawiając $P_j'(t) = 0$.

4. PODSUMOWANIE

Przedstawiony model matematyczny umożliwia prognozowanie w wyrobiskach górniczych stanów niebezpiecznych, mogących w określonych momentach czasowych aktywować niebezpieczne zdarzenia. Występowanie stanów niebezpiecznych (stanów zagrożenia bezpieczeństwa) jest związane ze strukturą wewnętrzną wyrobisk, ale przede wszystkim z następstwem czasowym zjawisk litosferycznych i związanymi z nimi zmianami strukturalnymi zachodzącymi w otoczeniu tych wyrobisk. Zmiany te są coraz lepiej rozpoznawane i rejestrowane, co poszerza możliwości aplikacyjne przedstawionego modelu.

LITERATURA

1. Bobrowski D.: Modele i metody matematyczne teorii niezawodności. WNT, Warszawa 1985.
2. Bobrowski D.: Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. WNT, Warszawa 1980.
3. Feller W.: An Introduction to Probability Theory and its Applications. New York 1970, t. 1 i 2.
4. Krzemień St.: Metoda systemowo-jakościowej oceny stanu zagrożeniowego zakładu górniczego. ZN Pol. Sl. Górnictwo, z. 139, Gliwice 1985.
5. Litwiniuszyn J.: Time Space Process in Stochastic Media. Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences 1969, vol. 8, nr 5.
6. Plucińska A., Pluciński E.: Elementy probabilistyki. Wyd. PWN, Warszawa 1979.
7. Ryncarz T.: O systematycznej klasyfikacji zagrożeń występujących w górnictwie podziemnym. Kwartalnik AGH. Górnictwo. Kraków 1983 z. 3.

8. Szczurowski A.: Pojęcie zagrożenia. Komunikat na seminarium Sekcji Zwalczenia Zagrożeń Górniczych. Komisja Górnicza, Oddział PAN Katowice 16.12.1983 r. Materiały powielane.
9. Wanat J.: Wybrane zagadnienia BHP. Materiały szkoleniowe. SITG, Katowice 1968.
10. Zagrożenia naturalne w kopalniach. Praca zbiorowa pod red. B. Firganka i F. Klebanowa. Śląsk, Katowice 1983.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Jan STACHOWICZ

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1987 r.

ЛИТОСФЕРНАЯ УГРОЗА В СВЕТЕ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Резюме

В работе представлены математические основы прогнозирования опасных случаев в подземных выработках, на которые влияют внешние принудительные факторы. Принудительные факторы — это процессы в горном массиве, которые относятся к группе угрожающих земной коре. Эти угрозы невозможно наблюдать непосредственно, а физико-химические процессы, им сопутствующие, имеют сложный и разностронний характер. Большинство величин, описывающих эти процессы, изменяются во времени, причём они носят случайный характер. Это стохастические процессы, зависящие от неслучайного параметра t .

Рассмотрен один из случайных процессов — это точечный процесс Маркова с постоянным временем. Используя свойства процесса Маркова и уравнения Колмогорова, даны формулы для определения вероятности нахождения объекта в опасности в определённый момент в одном из возможных состояний, ввиду интенсивности выступающих в его близи литосферных явлений.

В качестве критерия интенсивности угрозы объекта в момент t предложено использовать идентификатор черт угрожающего явления, называемого предвестником опасных случаев, при чём примеры ограничены до одной литосферной угрозы, т.е. до угрозы горного удара. Идентификаторами черт этой угрозы являются методы наблюдения, такие как: микросейсмический, сейсмо-акустический, метод буровой sondы и т.д.

LITHOSPHERIC HAZARDS AS FORMULATED IN THE THEORY OF RANDOM PROCESSES

Summary

This article presents the mathematical basis for predicting dangerous events in subterranean headings which are affected by the outer forcing agents. Forcing agents are these processes and phenomena occurring in the ground that are classified as a group of lithospheric hazards in the systematics of mining hazards. Lithospheric hazards are not directly observable and accompanying physical-chemical processes are complex and their mechanism of activation is diversified. The majority of terms describing these processes undergo time-dependent changes; incidentally, these changes are generally of random character. They are random (stochastic) processes dependent on a non-random parameter t .

Starting from this assumption, one of random processes called the Markov point process with continuous time has been considered. Making use of the properties of the Markov process and of Kolmogorow equations there are given formulae to establish the probability of an object to be in danger at the fixed moment in one of possible states with respect to the intensity of lithospheric phenomena occurring in its vicinity. As criteria of intensity of a hazard state of an object in the time t , there are suggestions to use identifiers of features of hazardous phenomena called forerunners or precursors of dangerous events, while the example presented in this article is limited only to one of lithospheric hazards, namely to hazards of crump. The sources to establish the identifiers of features of this hazard make up observation-experiment methods as follows: micro-seismological method, seismoacoustic method, probing auger method and others.