

Zbigniew LIPSKI

IDENTYFIKACJA OBCIĄŻENIA UKŁADU DYNAMICZNEGO ZAGROŻONEGO DZIAŁANIEM WSTRZĄSÓW GÓRNICZYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcję i rezultaty identyfikacji wymuszenia kinematycznego pochodzącego od silnego, spodziewanego wstrząsu górniczego. Podstawę badań były sejsmogramy wstrząsów górniczych notowanych na terenie Górnego Śląska traktowane jako realizacje procesów losowych.

1. Wprowadzenie

Wysoka aktywność parasejsmiczna obszaru Górnego Śląska skłania do poszukiwania metod określania wielkości oddziaływania wstrząsów górniczych zwłaszcza na wysokie konstrukcje nośne budowli o różnym przeznaczeniu. Ocena wytrzymałości takiej konstrukcji nośnej można przeprowadzić wykorzystując wyniki odpowiednich obliczeń dynamicznych.

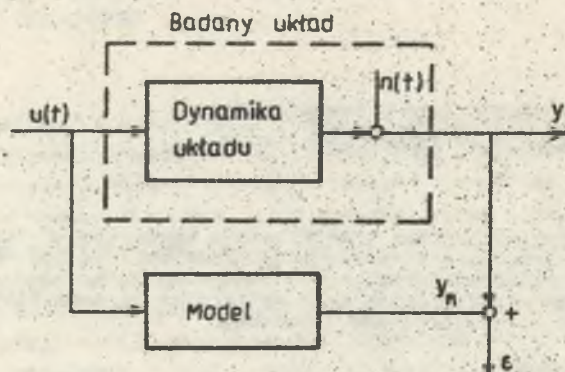
Problem rozpoznania modeli obliczeniowych konstrukcji, górnotworu i wymuszenia kinematycznego oddziałującego na budowlę i pochodzącego od wstrząsu górniczego można sformułować w kategoriach ich identyfikacji. W [1] cytowano następującą definicję identyfikacji: "jest to określenie na podstawie wejścia i wyjścia przynależności do określonej klasy układów, względem których badany układ jest równoważny". Przez "badany układ" rozumieć można dowolny, rzeczywisty obiekt (urządzenie, budowla, automat, zjawisko przyrodnicze lub ekonomiczne), który podlega badaniu i analizie. Zwrot "przynależność do określonej klasy układów" interpretuje się jako istnienie możliwości opracowania modelu fizycznego lub matematycznego, względem którego "badany układ" jest równoważny. Równoważność bada się wtedy za pomocą funkcji błędów lub strat określonej na sygnałach wejściowych układu rzeczywistego y i modelu y_M zapisanej następująco:

$$\epsilon = \epsilon(y, y_M) \quad (1.1)$$

Funkcja ϵ uwzględnia fakt istnienia zakłócenia $n(t)$ nakładającego się na przekształcony przez "dynamikę układu" sygnał wejściowy układu $u(t)$ (rys. 1).

Funkcja błędu jest traktowana wobec powyższego jako miara dopasowania modelu do układu rzeczywistego. W przypadku potraktowania identyfikacji

jako problemu probabilistycznego ϵ jest funkcją losową i służy do estymacji wartości parametrów modelu.



Rys. 1. Ogólny schemat identyfikacji układu

Za względu na sposób określenia identyfikacji można uważać, że model układu reprezentuje sobą [1] trzy rodzaje wiedzy:

- o strukturze, wyrażonej w postaci tożsamości matematycznych, schematów blokowych itp.,
- o wartościach parametrów, czyli wielkościach niezależnych od sygnału wejściowego lub zmiennych niezależnych,
- o wartościach zmiennych zależnych w postaci dyskretnej lub ciągłej funkcji czasu.

W niniejszej pracy dokonano identyfikacji wymuszenia kinematycznego odpowiadającego bardzo silnemu wstrząsowi górniczemu. Wymuszenie to jest wykorzystywane do przeprowadzenia obliczeń dynamicznych konstrukcji nośnych budowli posadowionych w pobliżu epicentrum wstrząsu.

2. Koncepcja identyfikacji układu budowla-qórtwór

Identyfikacja określona na schemacie z rys. 1 może być zrealizowana wtedy, gdy dostępne są pomiary sejsmologiczne wykonywane przez długi okres czasu w wybranym obszarze, w epicentrach wstrząsów lub ich pobliżu. Wtedy możliwe jest na przykład wybranie wstrząsu o ekstremalnych skutkach w danych warunkach i przeprowadzenie identyfikacji modelu służącego do badania wpływu wstrząsów górniczych na budowle posadowione w jego epicentrum. Jednak obecnie prowadzone pomiary sejsmologiczne na terenie Górnego Śląska, w kopalniach aktywnych sejsmicznie, mają dwa zasadnicze mankamenty z punktu widzenia opisywanych badań:

- pomiarów dokonuje się z reguły w wyrobiskach kopalnianych, a tylko w sporadycznych przypadkach na powierzchni ziemi,
- często brak jest poprawnych wyników pomiarów dokonywanych w epicentrum silnych wstrząsów lub ich pobliżu z powodu przestarzenia aparatury pomiarowej.

W celu ominięcia powyższych ograniczeń przyjęto w pracy schemat identyfikacji wspomnianego układu przedstawiony na rys. 2. Zastosowano w nim następujące oznaczenia:

U_I - nieznanymi impuls, będący pobudzeniem działającym w ognisku I-tego wstrząsu, którego epicentrum jest położone w badanym obszarze Górnego Śląska, powodującym powstanie fal sejsmicznych w górotworze, $I = I, II, III, \dots, J$.

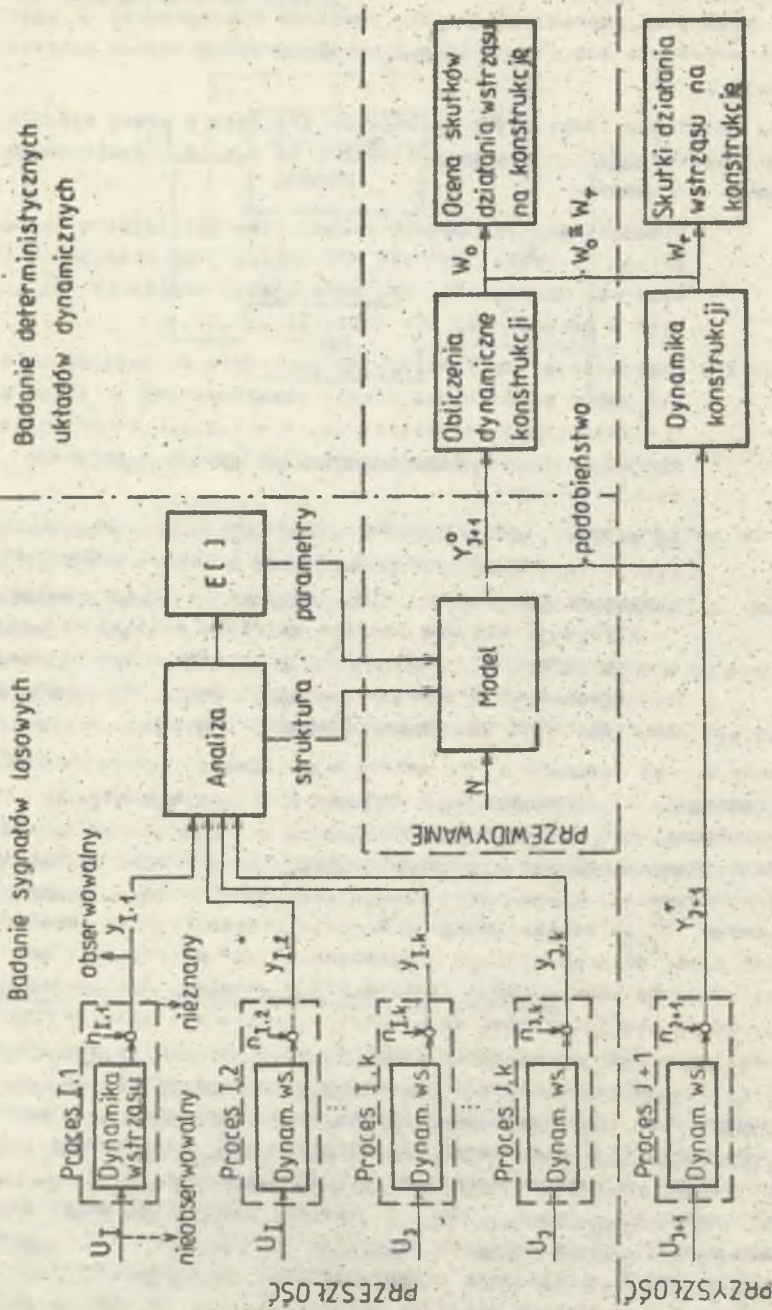
Proces I, i - charakterystyka filtracyjna górotworu wpływająca na własności drgań powierzchni ziemi, obserwowanych w i -tym miejscu a wywołanych i -tym wstrząsem, $i = 1, 2, \dots, k$ - przyjęte oznaczenie położenia stacji sejsmologicznych w rejonach aktywnych sejsmicznie,

$Y_{I,i}$ - sejsmogram, czyli obraz sygnału sejsmicznego notowany przez stację sejsmologiczną posadowioną w i -tym miejscu (zwykle wyrobisko kopalniane) dla I-tego wstrząsu górniczego. Zwykle otrzymuje się dla pewnego wstrząsu komplet "k" sejsmogramów wykonanych w tych samych "k" stacjach sejsmologicznych, w szczególnych przypadkach sejsmogramów jest mniej niż "k" ze względu na awarię urządzeń pomiarowych.

Sygnały U_I są nieznanymi i nie istnieje możliwość ich notowania. Również "Procesy I, i " są nieznanymi, a ich rozpoznanie jest z technicznego punktu widzenia, nie do przeprowadzenia.

Zadanie identyfikacji układu dynamicznego sprowadzono w niniejszej pracy do przewidywania na podstawie $Y_{I,1}, \dots, Y_{J,k}$ funkcji wymuszenia kinematycznego Y_{J+1}^0 utożsamianego z funkcją przyspieszenia swobodnej powierzchni ziemi odpowiadającego przyszłemu, "J+1" wstrząsowi górniczemu. Można je uznać za identyczną z funkcją Y_{J+1}^r , czyli rzeczywistym pobudzeniem, które będzie działać na budowlę w wyniku wystąpienia "J+1" wstrząsu górniczego. Takie postawienie zadania, w którym pojawia się identyfikację U_I, \dots, U_J oraz Procesów I, i, \dots, J, k jest wystarczające do badania skutków działania spodziewanego wstrząsu na konstrukcję, a jednocześnie możliwa do wykonania, wymuszenie kinematyczne Y_{J+1}^0 generowane jest przez model pobudzony na wejściu normalnym sygnałem losowym N .

Sejsmogramy $Y_{I,1}, \dots, Y_{J,k}$ uznaje się za podstawę do określenia struktury tego modelu, czyli ogólnych jego własności oraz wartości parametrów sterujących, które umożliwiają przeprowadzenia generowania wymuszenia kinematycznego dla wybranych obszarów Górnego Śląska. Do analizy sejsmogramów zastosowano teorię procesów losowych.



Rys. 2. Schemat identyfikacji układu dynamicznego

Istotnym problemem jest zdefiniowanie "podobieństwa" funkcji otrzymanej na wyjściu modelu Y_{j+1}^D , czyli sztucznego wymuszenia kinematycznego oraz Y_{j+1}^R - jego rzeczywistego odpowiednika powstałego w epicentrum silnego, spodziewanego wstrząsu górniczego. Analogiczny problem, lecz dla trzęsień ziemi, rozwiązują się stosując według [2], następujące kryteria podobieństwa sztucznego i naturalnego wymuszenia:

- normowana autokowariancja obu funkcji powinna wykazywać te same cechy,
- maksymalne wartości przyspieszeń są identyczne,
- krzywe spektrum przyspieszeniowego odpowiadają normowanym wykresom,
- niestacjonarność w obu przypadkach jest identyczna.

W pracy [3] uzupełniona się powyższe o następujące:

- rozkład prawdopodobieństwa losowej częstotliwości rzeczywistych i sztucznych akcelerogramów powinien być ten sam,
- dążyć należy do uzyskania algorytmu generacji łatwego do zrealizowania.

W praktycznej realizacji modeli generowania sztucznych wymuszeń zwykle uzyskuje się tylko częściowe spełnienie postulowanych kryteriów.

W przedstawionej pracy przyjęto, że "podobieństwo" oznacza zgodność:

- energii wyzwolonej w ognisku wstrząsu rzeczywistego i tego od którego pochodzi sztuczne wymuszenie,
- niestacjonarnej wartości średniej ich rzędnych,
- jednostronnej funkcji gęstości mocy widmowej, co oznacza także zgodność autokowariancji,
- maksymalnej wartości przyspieszenia ruchu swobodnej powierzchni ziemi.

W przybliżeniu zgodne są także:

- rozkłady prawdopodobieństwa rzędnych obu wymuszeń,
- obwiednie ich rzędnych.

Powyższe kryteria spełnione są dla rzeczywistego i generowanego wymuszenia kinematycznego obserwowanego w wyrobisku kopalnianym co spowodowane jest tym, że zwykle znane są zapisy sejsmologiczne tylko tam wykonywane, o czym wspomniano powyżej. Ostateczną postać funkcji przyspieszenia ruchu swobodnej powierzchni ziemi uzyskuje się uwzględniając przejście fal sejsmicznych przez powierzchniowe warstwy górotworu.

Zaznaczona na schemacie z rys. 2 analiza sejsmogramów polega na ustaleniu cech i własności procesów losowych, których realizacjami są zanotowane funkcje $y_{I,1}, y_{I,2}, \dots, y_{j,k}$. W tym celu estymuje się według [4], na drodze uśredniania krótkoczasowego:

- rozkład prawdopodobieństwa rzędnych sejsmogramów, niestacjonarną wartość średnią i wariancję rzędnych, funkcję autokowariancji,
- jednostronną funkcję gęstości mocy własnej i wzajemnej, funkcję koherencji.

Rożpoznane tą drogą ogólne prawidłowości charakterystyczne dla wstrząsów górniczych w kopalniach górnośląskich wykorzystane zostały do określenia struktury modelu wymuszenia. Wyrażona została ona zależnościami i równaniami zastosowanymi w algorytmie programu na EMC służącego do numerycznego generowania wymuszenia, który opisano w dalszej części pracy. Natomiast analiza zapisów wykonanych w wybranej 1-tej stacji sejsmologicznej zaznaczona na rys. 2 operacją E [] pozwoliła, na drodze uśredniania ustalić wartości wybranych parametrów uznanych za najważniejsze z punktu widzenia "podobieństwa" funkcji Y_{D+1}^D i Y_{D+1}^R . Te parametry zastosowano do sterowania pracą modelu i generowania wymuszenia w epicentrum wstrząsu położonego w pobliżu 1-tej stacji sejsmologicznej. [

Powyżej przedstawione rozważania są podstawą identyfikacji wymuszenia. Kolejne operacje zaznaczone na schemacie identyfikacji, czyli wykonywanie obliczeń dynamicznych konstrukcji poddanej działaniu wstrząsu oraz dokonywanie oceny skutków tego oddziaływania odbywa się z zastosowaniem teorii deterministycznych układów dynamicznych i nie jest przedmiotem niniejszej pracy. Wynikiem ostatecznym obliczeń są wartości dynamicznych, maksymalnych wielkości wewnętrznych w newralgicznych przekrojach elementów tej konstrukcji. Oznaczono je na rys. 2 symbolem W_0 . Mogą one być podstawą dokonywania oceny skutków działania wstrząsu na budowlę, stopnia jej wyłączenia lub zagrożenia, ponieważ opisany wyżej sposób postępowania powinien zapewniać zgodność obliczonych W_0 i rzeczywistych W_f dynamicznych wielkości wewnętrznych w jej konstrukcji.

3. Rezultaty identyfikacji wymuszenia kinematycznego

W sposób powyżej przedstawiony opracowany został model generowania wymuszenia kinematycznego pochodzenia górniczego dla Górnego Śląska. Ma on postać algorytmu programu na EMC Odra pod nazwą GENEWEJS, generującego wspomniane wymuszenie w postaci dyskretnej funkcji przyspieszenia swobodnej powierzchni ziemi w epicentrum wstrząsu. Najłatwiejsze operacje wykonywane przez program to:

- generowanie dyskretnej funkcji losowych o skończonym czasie trwania, rozkładzie normalnym, zerowej średniej i jednostkowej wariancji,
- filtrowanie funkcji losowych w celu uzyskania założonych ich własności,
- sumowanie funkcji w taki sposób, żeby stosunki ich wartości średniokwadratowych były zgodne z wyznaczonymi w trakcie badania sejsmogramów rzeczywistych wstrząsów,
- kształtowanie obwiedni rzędnych funkcji wynikowej,
- przekształcanie funkcji w celu uwzględnienia przejścia fal sejsmicznych przez powierzchniową warstwę górotworu,
- normowanie, określające maksymalną rzędną wymuszenia oraz pozostała rzędną proporcjonalnie do niej.

Dane do programu GENEWEJS są następujące:

- okres dyskretyzacji funkcji wymuszenia kinematycznego,
- częstotliwości graniczne filtra używanego do filtracji funkcji losowych,
- stosunki wartości średniokwadratowych funkcji losowych,
- stosunek wartości średniej do wartości maksymalnej rzędnej,
- czas trwania funkcji wymuszenia,
- grubość warstwy powierzchniowej górotworu,
- prędkości fal sejsmicznych w ośrodkach tworzących górotwór,
- gęstość materiałów górotworu,
- prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsu o energii większej niż założona w ciągu roku.

Zestawy danych zostały przygotowane dla najbardziej zagrożonych miast Górnego Śląska: Bytomia, Katowic i Rudy Śląskiej. Wynik pracy EMC zgodnie z programem GENEWEJS ma postać zbioru dyskretnych wartości funkcji przyspieszenia ruchu swobodnej powierzchni ziemi w epicentrum spodziewanego wstrząsu górniczego. Jest on umieszczony w pamięci bębnowej maszyny, dzięki czemu może być wykorzystywany przez odpowiedni program służący do wykonywania obliczeń dynamicznych konstrukcji poddanej działaniu dyskretnego wymuszenia kinematycznego.

4. Zakończenie

Przyjęty sposób identyfikacji układu dynamicznego poddawanego działaniu losowego wymuszenia kinematycznego pochodzenia górniczego pozwolił na ominięcie wspomnianych w punkcie 2 braków, jakie istnieją w dotychczas prowadzonych obserwacjach i pomiarach sejsmologicznych nie uwzględniających potrzeb i wymogów budownictwa na terenach występowania szkód górniczych. Rezultatem przedstawionych rozważań jest sprawny, dzięki zastosowaniu EMC, i wystarczająco dokładny sposób badania wpływu wstrząsu górniczego na budowlę, zwłaszcza wysoką.

W razie potrzeby wykonania analizy opisywanego wpływu parasejsmicznego na Górnym Śląsku, lecz w miejscach dotychczas nie badanych, identyfikacje wymuszenia sprowadzałaby się do określenia wartości parastrow sterujących na podstawie sejsmogramów wstrząsów notowanych przez tatejską stację sejsmologiczną. Zaznaczono tę operację na rys. 2 symbolami E [].

Istnieje również możliwość zastosowania przedstawionego postępowania poza zagłębiem górnośląskim pod warunkiem, że tatejsze kopalnie prowadzą pomiary sejsmologiczne. Wówczas cały proces identyfikacji wymuszenia kinematycznego musiałby być przeprowadzony w całości zgodnie ze schematem zamieszczonym na rys. 2, co doprowadziłoby, być może, do opracowania innego, odpowiedniejszego dla tatejszych warunków modelu tego wymuszenia.

LITERATURA

- [1] Eykhoff P.: Identyfikacja w układach dynamicznych. PWN, Warszawa 1980.
- [2] Levy S., Kozin F., Moorman B.B.: Random Processes for Earthquake Simulation. Journal of Engin. Mech. Div., ASCE 1971; t. 97, nr EM2, s. 495-517.
- [3] Hsu T.J., Bernard M.C.: A Random Process for Earthquake Simulation. Journal of the JAEE, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1978; t. 6, nr 4, s. 347-362.
- [4] Bendat J.S., Piersol A.G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Bielek

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАГРУЗКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ГОРНЫХ СОТРАСЕНИЙ

Р е з ю м е

В работе даётся идея и результаты идентификации кинематического воздействия, являющегося результатом сильного предусмотренного горного сотрясения. Исследования проводились на основании сейсмограмм горных сотрясений собираемых на территории Верхней Силезии и принимаемых как реализации случайных процессов.

IDENTIFICATION OF A DYNAMIC SYSTEM LOAD IN THE RESENCE OF CRUMPS

S u m m a r y

An idea and results of a kinematic excitation identification caused by strong, expected crumpe are presented. The results have been obtained basing on seismograms of crumpe from the Upper Silesia region treated as stochastic process realizations.