ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997
Seria: BUDOWNICTWO z 84 Nr kol. 1376

Zbigniew LIPSKI

SYMULACYJNY MODEL WYMUSZENIA KINEMATYCZNEGO Z PRZYBLIŻONĄ OCENĄ WRAŻLIWOŚCI BUDYNKU NA TO OBCIĄŻENIE

Streszczenie. Przedmiotem pracy jest symulacyjny model obciążenia obiektu budowlanego w postaci wymuszenia kinematycznego (przyspieszenia) różnego pochodzenia, w tym parasejsmicznego i związanego z ruchem ulicznym. Jest on wykorzystywany w symulacyjnym eksperymencie, którego celem jest określenie ekstremalnej odpowiedzi dynamicznej tego obiektu na działające wymuszenie. Ograniczenie zakresu obliczeń uzyskano wprowadzając przybliżoną ocenę wrażliwości obiektu na działające wymuszenie. Przedstawiono przykłady obliczeń numerycznych.

SIMULATION MODEL OF KINEMATIC EXCITATION WITH ROUGH ESTIMATE OF SENSITIVITY OF BUILDING

Summary. The subject of the paper is the numerical simulation of load model of kinematics type. This excitation of real building is stochastic process produced by mining quake or street traffic. In order to reduce the set size of kinematics excitations the rough estimate of the sensitivity of building due to this excitations was applied. The numerical examples are referred.

1. Wprowadzenie

Podstawą badań nad wpływem oddziaływań przekazujących się na budowlę przez grunt, jak na przykład związanych ze wstrząsami górniczymi, powinny być przede wszystkim doświadczenia zrealizowane w warunkach rzeczywistych. Ze względu na losowość tych zjawisk zakres tych eksperymentów i możliwości ich przeprowadzenia są ograniczone. W takiej sytuacji, zwłaszcza w odniesieniu do wstrząsów górniczych, podstawą badań są zwykle pomiary drgań rejestrowane na swobodnej powierzchni ziemi uzupełnione eksperymentami numerycznymi. W związku z tym, że wspomniane zjawiska, a więc i odpowiednie oddziaływania na budynki mają

charakter stochastyczny, w badaniach numerycznych powinno się uwzględniać ten fakt wykorzystując dane pomiarowe wyczerpująco charakteryzujące badane zjawisko. Udaje się to zrealizować tylko w ograniczonym zakresie ze względu na możliwy czas prowadzenia pomiarów, liczbę i rozmieszczenie stacji pomiarowych, wielkość nakładów finansowych itp.

Badania obiektów poddanych oddziaływaniom w postaci wymuszeń kinematycznych, w tym parasejsmicznych, mają często za cel określenie ekstremalnego pola naprężeń i przemieszczeń chwilowych decydujących o ich wytężeniu lub zagrożeniu. Odpowiednia analiza numeryczna jest nierzadko prowadzona na drodze eksperymentów symulacyjnych, w których godzić należy sprzeczne wymagania:

- ograniczony zakres danych eksperymentalnych,
- możliwie krótki czas trwania obliczeń i niewielki zbiór wyników możliwy do opracowania,
- konieczność określenia ekstremalnej odpowiedzi obiektu budowlanego na oddziaływanie.

W niniejszej pracy wspomniany eksperyment symulacyjny dotyczy obciążeń traktowanych jako pewne procesy stochastyczne oddziałujące na deterministycznie określony obiekt. Wykorzystuje się w nim rozkład prawdopodobieństwa wybranych parametrów definiujących obciążenie i określonych na podstawie danych pomiarowych. Ogranicza się jego zakres, selekcjonując symulowane obciążenia z punktu widzenia wrażliwości obiektu na zmienność charakteryzujących je podstawowych parametrów.

2. Opis symulacyjnego modelu obciążenia

Model symulacyjny obciążenia obiektu budowlanego dotyczy wymuszenia kinematycznego w postaci funkcji przyspieszenia. Wprowadzono warunek umożliwiający badanie wrażliwości obiektu na to obciążenie. W tym ujęciu wrażliwość określona jest w sposób przybliżony. Wymuszenie charakteryzują dwie zmienne losowe: gęstość widmowa mocy własnej i przesunięcie fazowe składowych wąskopasmowych. Ich własności losowe opisane są za pomocą łącznego, empirycznego rozkładu prawdopodobieństwa określonego na podstawie danych pomiarowych. Obiekt budowlany rozpatrywany jest za pomocą liniowego, dyskretnego schematu obliczeniowego z tłumieniem wiskotycznym. Jego własności dynamiczne opisano za pomocą transmitancji.

Podstawowym elementem modelu symulacyjnego jest generator wektorów losowych wykorzystujący gęstość łącznego rozkładu prawdopodobieństwa $p_e(\tilde{G},\tilde{\Theta})$. Wektory te mają postać:

$$\mathbf{W}_i = \{W_i(g_{ij}, \vartheta_{ij})\} = \mathrm{col}\,(g_{si\,j}\, s_{gj} + m_{gj},\ \vartheta_{si\,j}\, s_j + m_{\vartheta j}), \tag{1}$$

$$\text{dla } j=1, \dots, n;\ i=1, \dots N_s$$

gdzie:

$p_e(\tilde{G},\tilde{\Theta})$ - empiryczna gęstość łącznego rozkładu prawdopodobieństwa standaryzowanych zmiennych losowych odpowiednio widmowej gęstości mocy własnej i przesunięcia fazowego składowych wąskopasmowych,

g_{ij} - realizacja gęstości widmowej mocy własnej dla i-tej realizacji wektora odpowiadająca j-temu pasmu o szerokości df,

df - elementarna szerokość widma zastosowana w dyskretyzacji zmiennych G i Θ,

ϑ_{ij} - realizacja przesunięcia fazowego składowych wąskopasmowych określona analogicznie,

g_{sij}, $\vartheta_{si\,j}$ - standaryzowane realizacje gęstości widmowej mocy własnej i przesunięcia fazowego określone analogicznie, generowane przez generator liczb losowych,

m_{gj}, $m_{\vartheta j}$ - empiryczne wartości średnie gęstości widmowej mocy i odpowiednio przesunięcia fazowego dla k-tego pasma widma,

s_{gj}, $s_{\vartheta j}$ - odchylenia standardowe określone analogicznie jak wartości średnie odpowiednich zmiennych losowych,

n - liczba pasm df pokrywających widmo symulowanego wymuszenia,

N_s - liczba realizacji wektora losowego.

Zmienne losowe G i Θ określone są następująco: $G \geq 0$; $0 \leq \Theta \leq 360°$.

Dla każdego wektora $\mathbf{W}_i$ obliczana jest średnia wartość energii odpowiedzi obiektu budowlanego za pomocą symulowanej, dyskretnej funkcji gęstości widmowej mocy własnej obciążenia o postaci:

$$G_i(f_j) = G_{ij}(j \cdot df) = g_{ij}. \tag{2}$$

Średnia energia odpowiedzi obiektu określona jest ogólną zależnością [1]:

$$V_{sr} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{d}\frac{\omega_i^2}{m_i^o}\left(\sum_{j=1}^{N_m}\mu_{ij}\cdot m_j\right)^2\int_0^{f_{max}} G(f)\left|F(2\pi f)\right|^2 df \tag{3}$$

gdzie:

ω_i - częstości drgań własnych,

μ_{ij} - współczynnik i-tej postaci modalnej dla j-tego stopnia swobody (masy) dynamicznego schematu obiektu,

$m_i^o = \sum_{j=1}^{N_m}\mu_{ji}^2\cdot m_j$ - masy główne odpowiadające i-tej postaci modalnej,

m_j - masa dyskretnego schematu dynamicznego obiektu,

$G(f)$ - jednostronna funkcja widmowa gęstości mocy własnej wymuszenia,

$\left|F(2\pi f)\right|^2 = \dfrac{1}{16\pi^4\left(f_i^2 - f^2\right)^2 + 8\pi^2\cdot\zeta_i^2\left(f_i^2 + f^2\right) + \zeta_i^4}$ - kwadrat modułu transmitancji dynamicznego układu dyskretnego,

$f_i = \dfrac{\omega_i}{2\pi}$,

ζ_i - współczynnik tłumienia krytycznego odpowiadający i-tej postaci modalnej,

f_{max} - górna granica pasma widma mocy,

d - liczba postaci modalnych układu dynamicznego uwzględniona w obliczeniach,

N_m - liczba stopni swobody układu dynamicznego.

Całka występująca we wzorze obliczana jest numerycznie według wzoru Simpsona z dokładnością określoną przez rozdzielczość widma gęstości mocy. Ostatni z wymienionych parametrów związany jest z dokładnością pomiarów i czasem trwania zarejestrowanych sygnałów.

Na podstawie wartości energii średniej odpowiedzi dokonuje się selekcji symulowanych wektorów $\mathbf{W}_i$. Wektor o wartości maksymalnej i wektory o energii średniej znajdującej się w założonym otoczeniu tego maksimum wykorzystywane są do dalszych obliczeń.

Wyselekcjonowane realizacje wektora losowego są podstawą generowania wymuszeń kinematycznych realizowanego według zależności:

$$a_i(k \cdot dt) = \sum_j^n \frac{(2g_{ij})^{0.5}}{n} \cdot \sin(k \cdot dt \cdot j \cdot df \cdot 2\pi - 2\pi\vartheta_{ij} / 360), \tag{4}$$

gdzie:

$i = 1,2, \ldots, N_a$; $N_a < N_s$, $k=0,1,\ldots,N_t$,

dt - okres dyskretyzacji funkcji wymuszenia kinematycznego,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Dyskretne funkcje $a_i(k \cdot dt)$ opisują symulowane wymuszenie kinematyczne wyrażone przez przyspieszenie swobodnej powierzchni ziemi i posiadają następujące własności:

- w j-tym paśmie szerokości df mają gęstości widmowej mocy własnej o wartości g_{ij},
- w tym samym paśmie przesunięcie fazowe składowych względem przyjętego poziomu odniesienia wynosi ϑ_{ij},
- obciążenia te oddziałując na przyjęty obiekt budowlany wywołują w nim maksymalną lub zbliżoną do niej odpowiedź dynamiczną.

Do generowania wektora losowego $\mathbf{W}_i$ zastosowano generator liczb losowych według metody eliminacji [2]. Opis tego generatora podano poniżej.

Niech $X = (G, \Theta)$ jest wektorem losowym o gęstości $p_e(\tilde{G},\tilde{\Theta})$ określonym na zbiorze Ω i równym zero poza nim.

O zbiorze Ω zakłada się, że można na nim określić rozkład równomierny. Zakłada się, że:

$$p_e(\tilde{G},\tilde{\Theta}) \le c \le +\infty.$$

Generuje się punkt (R_1, R_2, R_3), przy czym para (R_1, R_2) generowana jest według rozkładu równomiernego na zbiorze Ω, a R_3 też według rozkładu równomiernego, lecz na przedziale $(0, c)$. Zmienne R_1, R_2, R_3 są niezależne.

Jeżeli $R_3 \le f(R_1, R_2)$, to przyjmuje się, że $X = (R_1, R_2)$, jeżeli powyższy warunek nie jest spełniony, to otrzymaną parę liczb odrzuca się i powtarza się proces generowania.

Powyższy model symulacyjny został zrealizowany w postaci programu komputerowego. Wykorzystano w nim generator liczb losowych o rozkładzie równomiernym zawarty w bibliotece Pascal 7.0.

W celu sprawdzenia skuteczności działania generatora wektorów losowych o zadanym rozkładzie prawdopodobieństwa wykonano następujące testy: okresowości, chi-kwadrat zgod-

ności rozkładów, autokorelacji i momentów. Otrzymano zadowalające wyniki pozwalające na stwierdzenie, że generator ma założone własności.

3. Parametry wejściowe modelu

3.1. Podstawy teoretyczne określenia wartości parametrów

Danymi wejściowymi modelu są dwie zmienne losowe widmowa gęstość mocy własnej i przesunięcia fazowe składowych wąskopasmowych, które określono na podstawie danych pomiarowych. Wyniki pomiarów przedstawiają przebieg przyspieszenia na powierzchni ziemi $a_1(t), \ldots, a_K(t)$ i wywołane są określoną przyczyną, np. wstrząsami górniczymi.

Założono, że stanowią one realizacje procesu stochastycznego, który identyfikuje się za pomocą widmowej gęstości mocy własnej i przesunięć fazowych. W obliczeniach zastosowano wygładzony estymator gęstości mocy otrzymany w wyniku transformacji Fouriera funkcji autokowariancji i wygładzenia w dziedzinie czasu za pomocą okna Hamminga [3,4].

W celu obliczenia przesunięć fazowych wykorzystano sposób ogólnie opisany niżej.

Niech będą dwa ciągi czasowe $\{a_i\}$, $\{x_i\}$ dla $i = 0, 1, \ldots, N-1$ o zerowych wartościach średnich. Pierwszy z nich jest zarejestrowanym w naturze przebiegiem przyspieszenia, drugi testowym sygnałem harmonicznym o zerowej fazie.

Każdy z ciągów poddaje się transformacji Fouriera w postaci:

$$\overline{A}_k = \overline{C}_{ak} - i\overline{Q}_{ak} = \sum_{i=1}^{N-1} a_i \cdot \cos 2\pi ik / N - i \sum_{i=0}^{N-1} a_i \cdot \sin 2\pi ik / N, \tag{5}$$

$$\overline{X}_k = \overline{C}_{ak} - i\overline{Q}_{ak} = \sum_{i=1}^{N-1} x_i \cdot \cos 2\pi ik / N - i \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot \sin 2\pi ik / N, \tag{6}$$

gdzie:

$k = 0, 1, \ldots, N-1$,

i - jedność urojona,

$\Delta f = 1/N * \Delta t = 1/T$,

Δt - okres dyskretyzacji ciągów czasowych,

T - czas trwania sygnału

Jako graniczną wartość częstotliwości transformat przyjęto częstotliwość Nyquista:

$$f_N = 1/2\Delta t. \tag{7}$$

W obliczeniach numerycznych wyrażeń (5) i (6) zastosowano procedurę Reinscha [5]. Transformaty poddano operacji splotu z oknem typu GEO [5] w celu minimalizacji efektu obcięcia ciągów wejściowych w dziedzinie czasu.

Estymator widmowej gęstości mocy wzajemnej obu ciągów ma postać:

$$\begin{aligned} \overline{G}_{axk} &= 2\Delta t / N \cdot 0{,}856 \left[\overline{A}_k^* \cdot \overline{X}_k\right] = \\ &= 1{,}712\ \Delta t / N \left(\overline{C}_{ak} \cdot \overline{C}_{xk} + \overline{Q}_{ak} \cdot \overline{Q}_{xk}\right) - \mathbf{i}\left(\overline{C}_{ak} \cdot \overline{Q}_{xk} - \overline{C}_{xk} \cdot \overline{Q}_{ak}\right), \end{aligned} \tag{8}$$

dla k= 0, 1, ... , N-1

W celu zmniejszenia błędu losowego estymatora przeprowadza się jego wygładzenie i jego wartość przedstawia się w postaci modułu i fazy obliczonych dla środków przedziałów $k \cdot \Delta f \div (k + L - 1)\ \Delta f$, gdzie k = 1L, 2L,...,mL; L jest liczbą uśrednionych wartości estymatora. Środki tych przedziałów oznaczone są przez f_j.

Przesunięcia fazowe składowych określa się ze wzoru:

$$\Theta(f_j) = \Theta_{axj} = \frac{360}{2\pi} \cdot \operatorname{arctg} Q_{axj}/C_{axj}. \tag{9}$$

Gęstości widmowe mocy własnej i przesunięcia fazowe obliczane dla poszczególnych realizacji procesu $a_i(t)$ stanowią składowe dwuwymiarowego wektora losowego $\mathbf{D}_i(G(f_j), \Theta(f_j))$.

Wykonano dla niego testy, których celem było sprawdzenie zgodności łącznego i brzegowego rozkładu prawdopodobieństwa z rozkładem normalnym, przekształcono przy tym wektor przez standaryzację, unormowanie i zlogarytmowanie.

Ostatecznie utworzono dwa zbiory standaryzowanych zmiennych w postaci:

$$\begin{aligned} &\left\{\widetilde{G}_1(f_1), \widetilde{G}_1(f_2), \cdots, \widetilde{G}_i(f_j), \cdots, \widetilde{G}_{Na}(f_n)\right\}, \\ &\left\{\widetilde{\Theta}_1(f_1), \widetilde{\Theta}_1(f_2), \cdots, \widetilde{\Theta}_i(f_j), \cdots, \widetilde{\Theta}_{Na}(f_n)\right\}. \end{aligned} \tag{10}$$

Ich standaryzację przeprowadzono według następującej zbieżności:

$$\widetilde{y}_i(f_i) = \left[y_i(f_j) - m_{yi}\right] / s_{yi}, \quad i = 1, 2, \ldots, Na; \quad j = 1, 2, \ldots, n, \tag{11}$$

gdzie:

$y_i(f_j) = G_i(f_j), \Theta_i(f_j)$,

m_{yj}, s_{yj} - odpowiednio wartość średnia i odchylenie standardowe obliczone w wyniku uśrednienia w zbiorze o liczności N_a dla j-tej wartości częstotliwości.

O zbiorach (10) założono, że są one jednorodne statystycznie. Wykorzystując je określono gęstość łącznego rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych losowych $\tilde{G}, \tilde{\Theta}$. Określono także funkcje regresji wartości średnich i odchyleń standardowych obu zmiennych.

3.2. Charakterystyka danych wejściowych modelu

Do określenia danych wejściowych modelu symulacyjnego wymuszenia kinematycznego obiektu budowlanego wykorzystano zbiór sejsmogramów dla wstrząsów górniczych zarejestrowanych na terenie Górnego Śląska i zbiór przebiegów przyspieszenia związanego z intensywnym ruchem komunikacyjnym zarejestrowanych na niektórych ulicach Gliwic. Wszystkie sygnały zarejestrowano na swobodnej powierzchni ziemi.

Sejsmogramy wykonano w trzech stacjach pomiarowych prowadzonych przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

Stacja nr 1 była położona na obszarze kopalni „Centrum" na twardym podłożu triasowym.

Stację nr 2 zlokalizowano na obszarze kopalni „Szombierki" na podłożu czwartorzędowym o miąższości 22 m.

Stacja nr 3 położona była na obszarze kopalni „Zabrze" na podłożu czwartorzędowym o miąższości 50 m.

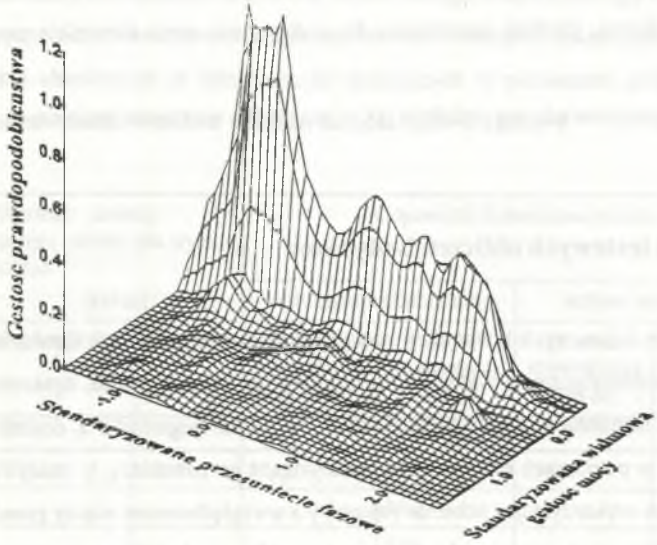
Dla każdego wstrząsu zarejestrowano dwie poziome składowe przyspieszenia o kierunkach N-S i E-W. Sygnały były wstępnie przetwarzane przez filtrację środkowo-przepustową o paśmie 0,5 – 30 Hz i usunięcie zniekształceń wprowadzanych przez przetwornik i tor pomiarowy. W wyniku analizy danych pomiarowych przeprowadzonej według zasad przedstawionych w p. 3.1 otrzymano gęstość łącznego rozkładu prawdopodobieństwa standaryzowanych zmiennych losowych w postaci widmowej gęstości mocy własnej i przesunięcia fazowego składowych wąskopasmowych. Przedstawiono go na rys. 1.

Odpowiadają mu funkcje regresji dla wartości średnich i odchyleń standardowych obu zmiennych, które przedstawiono poniżej:

- dla widmowej gęstości mocy własnej

  wartość średnia

$$m_g = 74{,}77\, f - 14{,}56\, f^2 - 0{,}01\, f^3 - 0{,}16\, f^4 - 0{,}01\, f^5, \tag{12}$$



Rys. 1.

odchylenie standardowe

$$s_8 = 208{,}05\, f - 4{,}33\, f^2 - 3{,}43\, f^3 - 0{,}08\, f^4, \tag{13}$$

- dla przesunięcia fazowego

wartość średnia

$$m_9 = 55{,}37\, f - 4{,}44\, f^2 - 0{,}214\, f^3 - 0{,}03\, f^4 - 6{,}42 \cdot 10^{-4}\, f^5, \tag{14}$$

odchylenie standardowe

$$s_9 = 48{,}38\, f + 58{,}89\, f^2 - 13{,}63\, f^3 + 1{,}24\, f^4 - 0{,}04\, f^5 + 1{,}94 \cdot 10^{-5}\, f^7. \tag{15}$$

Drugą grupę danych pomiarowych uzyskano w trakcie rejestrowania drgań powierzchni gruntu w różnych punktach położonych wzdłuż przelotowych lub ruchliwych arterii komunikacyjnych Gliwic. Były to ulice: Pszczyńska, Częstochowska i Daszyńskiego. Pomiary wykonano w trakcie przejazdu różnych pojazdów: autobusów, samochodów ciężarowych i osobo-

wych oraz tramwajów. Poruszały się one po odcinkach jezdni w różnym stanie technicznym: od bardzo dobrej, gładkiej nawierzchni do uszkodzonej przez niewielkie przełomy, wyrwy i nierówności.

Analizę przeprowadzono podobnie jak w przypadku wstrząsów górniczych.

4. Wyniki testowych obliczeń budynków

Obliczenia ścianowych konstrukcji nośnych budynków poddanych działaniu symulowanych wymuszeń kinematycznych wykonano wykorzystując liniowy, płaski, dyskretny schemat obliczeniowy z tłumieniem wiskotycznym. Miał on postać wspornika z dodatkowymi więzami sprężystymi w poziomach stropów. Charakteryzujące go parametry, tj. masy i sztywności giętne, obliczono wykorzystując schemat pasmowy z uwzględnieniem złączy pionowych i nadproży lub przestrzenny, tarczowy schemat rzeczywistej konstrukcji ścianowej.

W obliczeniach dynamicznych wykorzystano przede wszystkim symulowane wymuszenia typu parasejsmicznego związane ze wstrząsami górniczymi. Układ równań różniczkowych ruchu rozwiązano bezpośrednio metodą Newmarka za pomocą programu komputerowego [6]. Obliczenia wykonano niezależnie w kierunku podłużnym X i poprzecznym Y rzeczywistych obiektów. Podstawowe informacje o obiektach i wartości częstotliwości drgań własnych zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Lp.	System technologiczny	Wymiary rzutu poziomego [m]	Liczba kondygnacji nadziemnych	Częstotliwości drgań własnych [Hz]					
				1		2		3	
				X	Y	X	Y	X	Y
1.	WWP	11,0 × 29,0	5	2,7	8,9	16,8	56,3		
2.	WWB	11,9 × 14,0	5	2,8	8,5	17,6	54,1		
3.	Wk–70	10,9 × 28,9	5	5,4	7,7	34,3	49,1		
4.	WBL	11,9 × 13,2	5	0,9		5,9		16,7	
5.	W70–SG	10,8 × 24,0	11	3,1	1,9	19,3	11,7		32,9

Celem obliczenia odpowiedzi konstrukcji na symulowane wymuszenia było między innymi sprawdzenie skuteczności modelu wymuszenia z punktu widzenia określenia ekstremalnej od-

powiedzi dynamicznej konstrukcji. Za pomocą wspomnianego wspornikowego schematu obliczeniowego wyznaczono chwilowe, maksymalne wartości momentu utwierdzenia i odpowiadający mu układ chwilowych sił bezwładności działających w poziomach stropów obiektu. Przykładowy zestaw takich wyników obliczeń zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2

Lp.	Nr obiektu	Wartość średniej energii układu dla wymuszenia [kN·m]		Odpowiedź dynamiczna obiektu			
				wymuszenie ekstremalne		kolejne wymuszenie	
		ekstremalnego	kolejnego	moment utwierdzenia [kN·m]	siły bezwładności [kN]	moment utwierdzenia [kN·m]	siły bezwładności [kN]
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	2X	7225	2360	3110	111,0	2170	77,5
					84,2		58,6
					529		36,8
					26,1		18,2
					7,2		5
2.	5Y	38260	35840	65510	586	35000	189
					521		208
					442		220
					364		225
					291		221
					222		204
					159		174
					105		135
					61		90
					28		46
					7		13

Przyspieszenie maksymalne wymuszeń, dla których przeprowadzono obliczenia, wynosiło 0,5 m/s^2, współczynnik tłumienia krytycznego konstrukcji 0,03, liczebność zbioru realizacji wymuszenia 40.

Wyniki podobne do zamieszczonych uzyskano także w pozostałych przypadkach obiektów budowlanych. Przybliżony charakter oceny wrażliwości modelu budynku na wymuszenie powodował, że kolejność wymuszeń ze względu na wartość odpowiedzi otrzymanej z dynamicznej analizy była w niektórych przypadkach różna od wskazanej przez wartość średniej energii

układu. Dotyczyło to jednak tylko kilku wymuszeń usytuowanych na początku uporządkowanego ich ciągu według malejących wartości średniej energii układu.

5. Zakończenie

Przedstawiony model obciążenia dynamicznego obiektów budowlanych w postaci wymuszenia kinematycznego z przybliżoną oceną wrażliwości na nie obiektu wykorzystano w obliczeniach budynków o ścianowej konstrukcji nośnej. Wykazano przy tym jego przydatność. Obliczenia wykonano z zastosowaniem liniowego, prętowego schematu obliczeniowego.

Przygotowywane są także obliczenia z wykorzystaniem przestrzennego modelu obliczeniowego MES budynku o konstrukcji ścianowej [7].

LITERATURA

1. LIPSKI Z.: Sposób wyszukiwania w zbiorze wieloelementowym maksymalnych kinematycznych obciążeń dynamicznych obiektu budowlanego. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, Budownictwo z. 81, Gliwice s. 581-590.
2. ZIELIŃSKI R.: Generatory liczb losowych. WNT, Warszawa 1979.
3. BENDAT J.S., PIERSOL A.G.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
4. OTNES R.K., ENOCHSON L.E.: Analiza numeryczna szeregów czasowych. WNT, Warszawa 1978.
5. JANKOWSCY J. M.: Przegląd metod i algorytmów numerycznych. WNT, Warszawa 1981.
6. TROJAN Z.: Program do obliczania wpływu wymuszenia kinematycznego na budynki o konstrukcji ścianowej. Inżynieria i Budownictwo. Nr 1, 1993, s. 13-14.
7. AJDUKIEWICZ A., LIPSKI Z., MAJEWSKI S., POREMBSKI G., WŁASZCZUK M.: Analiza przestrzennego modelu MES obiektu budowlanego obciążonego parasejsmicznym wymuszeniem kinematycznym. W: XXXVI Sympozjon PTMTS. Modelowanie w mechanice. Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej. Zesz. nr 4, Gliwice 1997, s. 9-14.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Stanisław Bielak

Abstract

There was presented the numerical simulation model of load of kinematics type. The real load of buildings is a stochastic process produced by mining quakes or street traffic. This process was recognised by the measurements of real acceleration, done on the free surface of the earth. This measurement was realised in three measuring, cool-mine stations localised in Upper Silesia and in a few measuring points localised in the busy streets of Gliwice. From characteristic parameters of the process two random variables: spectral density of power and phase angle were chosen. The result of analysis of the observed data was density of empirical, joint distribution of these two random variables. They are input data of the simulation model of the kinematics excitation. The model is composed of: generating program of random vectors, procedure of reduction of set size of vectors and generating program of kinematics excitations. Simulation excitations have the assumed joint distribution of spectral density of power and phase angle. In order to reduce the set size of kinematics excitations was applied the rough estimate of the sensitivity of building due to excitations. The reduction was made by seeking excitations in multi-elements set producing the maximum dynamic response of building. Author used spectral density of power characterising the dynamic load and transmittance of multi-degree of freedom of dynamic system modelling a building. The testing computation for five prefabricated buildings was performed using simulation of kinematics excitations. The principles of the model and results of testing calculations are presented.