

Dynamiczna interakcja wojskowych statków powietrznych pracujących na lotniskowej nawierzchni wykonanej z betonu cementowego

Dynamic interaction of military aircraft working on an cement concrete airfield pavement



Piotr Nita

Prof. dr hab. inż.

Instytut Techniczny Wojsk
Lotniczych

piotr.nita@itwl.pl

Streszczenie: W publikacji przedstawiono wyniki badań i analizę oddziaływania wojskowych statków powietrznych na lotniskową nawierzchnię wykonaną z płyt wstępnie sprężonych. W eksperymencie wykorzystano trzy typy statków powietrznych tj: samolot TS 11 ISKRA, samolot SU 7 BM oraz samolot SU-22 M4. W badaniach poligonowych wykorzystano geofizyczne metody pomiaru dynamicznych własności konstrukcji nawierzchni lotniskowej. W oparciu o nieliczne, możliwe do wykorzystania metody pomiaru drgań tego rodzaju konstrukcji, dokonano rejestracji poziomu drgań nawierzchni wywołanych przez pracujące na tej nawierzchni statki powietrzne. Badania prowadzono dla różnych poziomów siły ciągu statków powietrznych, dokonano oceny stopnia szkodliwości wpływu generowanych drgań na nawierzchnię przez źródła wymuszeń jakimi były wymienione wyżej statki powietrzne. Z uwagi na to, że przeprowadzone badania były jednymi z pierwszych wykonanymi w kraju, a badania takie należą do rzadkości, nie spotyka się publikacji poświęconych tej problematyce również w literaturze zagranicznej. Dlatego brakuje miarodajnych i wiarygodnych kryteriów oceny wpływu drgań na te konstrukcje. W ocenie zjawisk dynamicznych poprzez analogię wykorzystano metody oceny i kryteria odniesione do obiektów budownictwa ogólnego. Najczęściej wykorzystywane kryteria do oceny oddziaływań dynamicznych mają z podstawę kryterium prędkości drgań. W publikacji dokonano oceny wpływu w oparciu o następujące kryteria: skali wibratorów, skali SWD i skali Zellera.

Słowa kluczowe: Statek powietrzny; Nawierzchnia lotniskowa z betonu cementowego; Częstotliwość

Abstract: The publication presents test results and analysis of the impact of military aircraft on an airport pavement made of pre-stressed panels. Three types of aircraft were used in the experiment, i.e. TS 11 ISKRA aircraft, SU 7 BM aircraft and SU-22 M4 aircraft. In the field tests, geophysical methods were used to measure the dynamic properties of the airport pavement structure. Based on the few vibration measurement methods of this type of construction that can be used, the vibration level of the pavement caused by the aircraft operating on that surface was recorded. The tests were carried out for various levels of aircraft thrust, the degree of harmfulness of the impact of generated vibrations on the pavement by sources of excitement, which were the above-mentioned aircraft, was assessed. Due to the fact that the research was one of the first to be carried out in the country, and such research is rare, there are no publications devoted to this issue also in foreign literature. Therefore, there are no reliable and credible criteria for assessing the impact of vibrations on these constructions. In the assessment of dynamic phenomena, by analogy, assessment methods and criteria related to general construction facilities were used. The most frequently used criteria for assessing dynamic interactions are based on the vibration speed criterion. The publication carried out an impact assessment based on the following criteria: vibrator scale, SWD scale and Zeller scale.

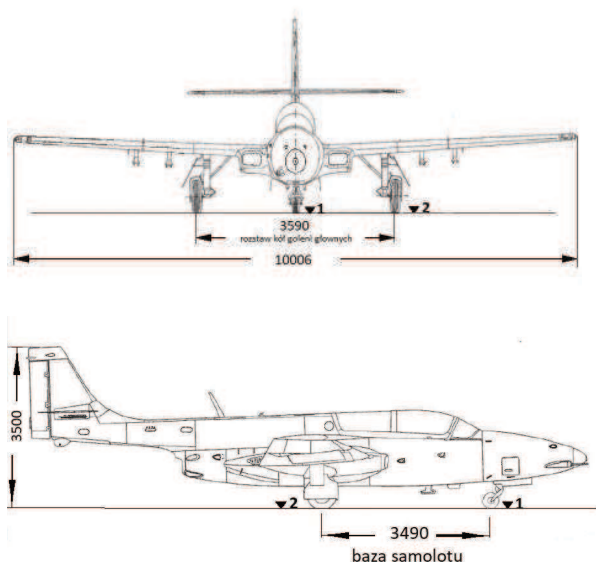
Keywords: Aircraft; cement concrete Airfield pavement; Frequency

Wstęp

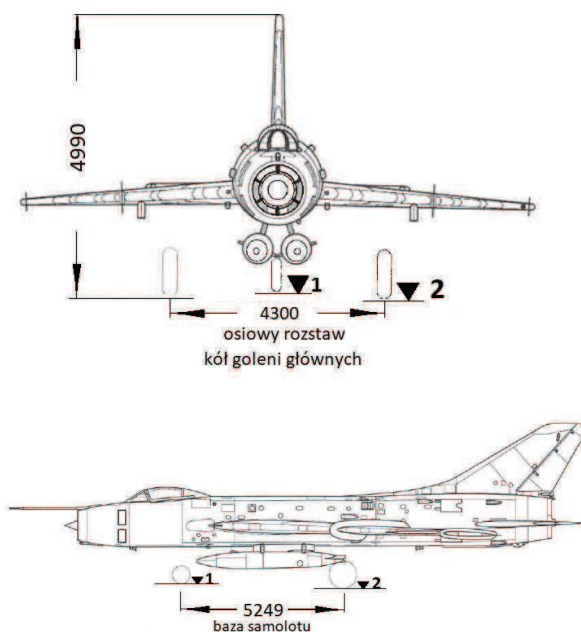
Nawierzchnie lotniskowe wykonane z betonu cementowego poddawane są cyklicznym i doraźnym oddziaływaniom, których pochodzenie jest konsekwencją wielorakich oddziaływań statku powietrznego na nawierzchnię. Do tego rodzaju oddziaływań należą oddziaływania

dynamiczne. W tej publikacji rozpatrzono stan oddziaływań statków powietrznych na nawierzchnię stojących na niej samolotów. Ten rodzaj drgań ma złożony charakter i wyraża się oddziaływaniami charakterze mechanicznym, akustycznym, termicznym i innymi, które mają charakter turbulentny o dużej intensywności. Skala oddziaływań statków

powietrznych na nawierzchnię jest następstwem ich rozwiązań konstrukcyjnych, głównie wielkości ciągu jednostki napędowej i czasu pracy statku powietrznego na różnych zakresach mocy i sposobu przekazywania obciążenia na nawierzchnię oraz rozwiązań układu konstrukcyjnego nawierzchni.



1. Samolot TS-11 ISKRA w badaniach oddziaływań dynamicznych na nawierzchnię lotniskową



2. Samolot SU-7-BM w badaniach oddziaływań dynamicznych na nawierzchnię lotniskową

Metoda poligonowych badań dynamicznych

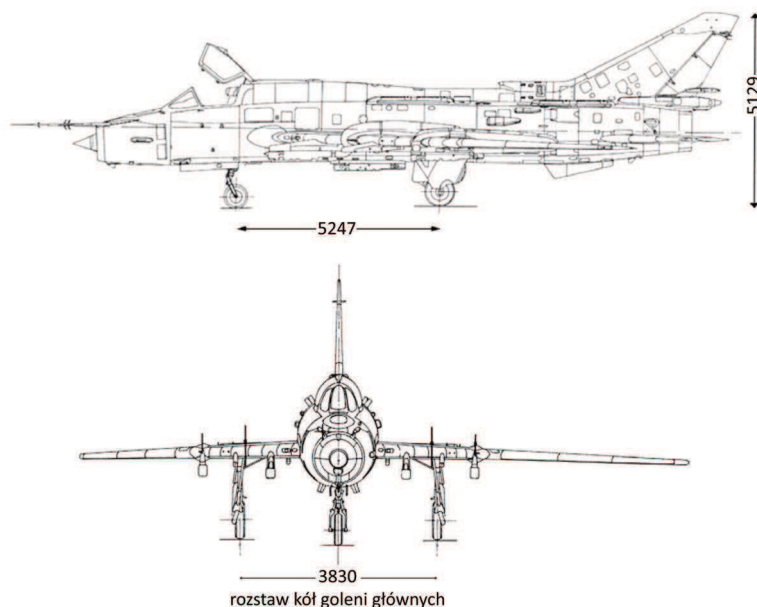
Badania dynamicznego oddziaływania statków powietrznych na nawierzchnię wykonano na eksperymentalnym fragmencie płaszczyzny prób silników. Źródłem dynamicznych wymuszeń były dwa typy statków powietrznych tj. TS 11 Iskra oraz SU-7-BM i SU-22M4. Podstawowe charakterystyki tych statków powietrznych mających wpływ na generowane oddziaływania są następujące: dla samolotu TS 11 Iskra, wielkość siły ciągu 795 dkN i masa startowej 3834 kg, dla samolotu SU-7- BM, wielkość siły ciągu 6865 dkN i masie startowej 13954 kg. SU-22 M4 wielkość siły ciągu 7500 dkN (z ewentualnym dopalaczem 11700dkN) i masie startowej 19500 kg. Sylwetki geometryczne i ich wymiary przedstawiono na rys. 1, 2, 3.

Badania prowadzono na betonowej, eksperymentalnej nawierzchni wykonanej z płyt sprężonych o grubości 14,0 cm, które ułożono na dwóch rodzajach podbudowy tj.

- podbudowy wykonanej z betonu C 8/10 (wcześniej B 100),
- podbudowy gruntowej z warstwą wyrównawczą z zagęszczonego piasku. Ciśnienie w ogumieniu kół wynosiło: dla kół w goleni głównej około 1,5 MPa w goleni dziobowej około 1,1 MPa.

Zasadniczym celem realizowanej pracy było sprawdzenie poprawności rozwiązania konstrukcyjnego nawierzchni zbudowanej z płyt sprężonych i reakcji takiej nawierzchni na dynamiczne oddziaływania pracujących na niej samolotów. W celu uzyskania miarodajnych, dynamicznych charakterystyk nawierzchni, wykorzystano metodę sejsmiczną, której istotą jest możliwość wyznaczenia wielkości propagacji fal sprężystych

w złożonym ośrodku warstwowym. Dynamiczna, falowa charakterystyka układu samolot – nawierzchnia polegała na; wyznaczeniu prędkości propagacji fal, częstotliwości drgań i wielkości tłumienia. W celu oceny charakteru zjawiska wyznaczono: maksymalne amplitudy i dominującą częstotliwość drgań. W pomiarach uwzględniono przede wszystkim pionowe składowe obciążenia. Rejestratorami drgań były elektrodynamiczne geofony o częstości drgań



3. Samolot SU-22 M4 w badaniach oddziaływań dynamicznych na nawierzchnię lotniskową
Oznaczenia 1, 2, 3 dotyczą miejsc lokalizacji geofonów pomiarowych dla wszystkich typów statków powietrznych wykorzystanych w badaniach. Wymiary samolotów podano w cm.

własnych 10 Hz. Aparatura rejestrująca to zestaw urządzeń ASI-415. Charakterystyczne wielkości urządzenia rejestrującego to:

- pasmo rejestrowanych częstotliwości 2,5 do 1200 Hz,
- dynamika regulacji wzmocnienia 66 dB. Geofony wstawiono w miejscach zaznaczonych na rys. **1, 2, 3** oraz w osi samolotu w odległościach około 3,0 m od siebie w linii prostej.

Pomiary prowadzono przy narastającej dynamice obciążenia według następujących zasad:

- rozruch, siła ciągu silnika około 5% ciągu maksymalnego,
- mały gaz, siła ciągu silnika około 10% ciągu maksymalnego.
- stan eksploatacyjny, siła ciągu wynosiła około 45-58 % ciągu maksymalnego,
- stan maksymalny możliwy do zrealizowania w warunkach poligonowych, siła ciągu około 95% ciągu maksymalnego.

Dla każdego stanu. wykonano pomiary charakterystyk drganiowych zespołu statku powietrznego i badanej nawierzchni. Wyniki pomiarów rejestrowano na kliszy fotograficznej.

Wyniki badań uzyskane w pomiarach poligonowych

Przeprowadzone badania pozwoliły na rejestrację fali podłużnej rozchodzącej się pod nawierzchnią w warstwie podbudowy, które jak wcześniej sygnalizowano miały zróżnicowane charakterystyki materiałowe. Z analizy prędkości fali podłużnej w warstwie podbudowy niezależnie od rodzaju warstw nie zaobserwowano znaczących różnic w ich przebiegi tzn. ich prędkości. Prędkość sprężystej fali podłużnej wynosiła od 1800 do 1900 m/s. Należy mieć na uwadze to, że pomiary dynamicznego oddziaływania statków powietrznych na nawierzchnie lotniskowe były pierwszymi w kraju. Do chwili obecnej brakuje racjonalnych kryteriów oceny takich oddziaływań.

Krajowe dokumenty normalizacyjne dotyczą budynków i budownictwa ogólnego i dla tego rodzaju obiektów opracowano normę, która w 2016 była uaktualniona i obecnie funkcjonuje w wersji PN-B -02170:2016-12 pt. „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”. Właśnie ta norma stanowiła poziom odniesienia do wyników uzyskanych w badaniach. Pomierzone amplitudy prędkości drgań przeliczono na amplitudy przemieszczeń według następującej zależności:

$$A_w = A_v / 2f \quad (1)$$

$$A_a = 2A_v f \quad (2)$$

gdzie: A_a - amplituda przyspieszenia, A_v - amplituda prędkości, A_w - amplituda przemieszczenia, f - częstotliwość.

Analizując charakter oddziaływań statków powietrznych na nawierzchnie lotniskowe mamy do czynienia z drganiami parasejsmicznymi, które charakteryzują się niestacjonarnym procesem losowym. Badając tej klasy oddziaływania oznacza to, że w zagadnieniach tej klasy, wymagane jest indywidualne podejście i szczegółowa analiza zjawisk, która uzyskany wynik uczyni bardziej wiarygodnym. W zależności od poziomu pracy silników, zmianie ulegały amplitudy prędkości drgań. Największe ampli-

tudy zarejestrowano przy najwyższym poziomie pracy silników, zbliżonym do reżimu przedstartowego. Amplitudy prędkości drgań w początkowym stadium pracy silnika są prawie o rząd wielkości mniejsze od otrzymanych z rejestracji gdy silnik samolotu wykazywał maksymalny ciąg bliski reżimowi przedstartowemu. Zarejestrowane amplitudy prędkości drgań A , pozwalają na dokonanie podziału wg. następujących grup:

- największe drgania $A > 0,200$ mm/s,
- drgania średnie $0,200 > A > 0,100$ mm/s,
- małe drgania $0,100 > A > 0,060$ mm/s,
- bardzo małe drgania $0,060$ mm/s $> A$.

Uzyskane wyniki pomiarów poligonowych zamieszczono w tabeli **1**.

Analizując i porównując charakterystyki, wykorzystanych w eksperymentach statków powietrznych można stwierdzić, że:

- częstotliwość drgań wywołanych przez statki powietrzne na nawierzchni o tej charakterystyce konstrukcyjnej niewiele różnią się między sobą. Nieco większe amplitudy wystąpiły w przypadku samolotu cięższego SU-7-BM i SU-22 M4,
- w badaniach nie wyróżniono istotnych rozbieżności w zależności od rodzaju podbudowy i

Tab. 1. Rozkład zarejestrowanych drgań nawierzchni w poszczególnych grupach w zależności od konstrukcji nawierzchni i pracującego samolotu

Rodzaj statku powietrznego	Układ konstrukcyjny nawierzchni na, którym dokonano pomiarów	Wielkość zarejestrowanych amplitud w mm/s			
		$A > 0,200$	$0,200 > A > 0,100$	$0,100 > A > 0,060$	$A > 0,060$
TS-11-ISKRA	Zagęszczone podłoże piaszczyste, płyta sprężona gr. 14,0 cm	0,24	0,41	0,32	0,03
	Podbudowa betonowa, nawierzchnia z płyt sprężonych	0,25	0,51	0,13	0,11
SU-7 –BM	Zagęszczone podłoże piaszczyste, płyta sprężona gr. 14,0 cm	0,25	0,70	0,02	0,03
	Podbudowa betonowa nawierzchnia z płyt sprężonych	0,37	0,22	0,37	0,04
SU-22 M4.	Zagęszczone podłoże piaszczyste, płyta betonowa	0,41	0,68	0,48	0,07

podłoża gruntowego. Zarejestrowane maksymalne amplitudy prędkości drgań są następujące dla wykorzystanych w eksperymencie statków powietrznych:

- o dla samolotu TS – 11 – Iskra,
 - pracującego na podłożu z piasku zagęszczonego $A_{\max} = 0,244$ mm/s i $f = 99$ Hz,
 - pracującego na podłożu z betonu klasy C8/10 $A_{\max} = 0,24$ mm/s i $f = 126, 2$ Hz,
- o dla samolotu SU-7-BM,
 - pracującego na podłożu z piasku zagęszczonego $A_{\max} = 0,239$ mm/s i $f = 189$ Hz,
 - pracującego na podłożu z betonu klasy C8/10 $A_{\max} = 0,826$ mm/s i $f = 79, 2$ Hz.
- o dla samolotu SU-22 M4 na podłożu z betonu C 25/30 (dawniej B 25).

Stwierdzono występowanie drgań o niskich częstotliwościach o zakresie od 60 do 400 Hz i drgań o częstotliwościach wyższych tj. 600 do 1200 Hz. W grupie drgań o niskich częstotliwościach występowały drgania: dla samolotu TS-11-Iskra - $f = 187$ Hz, dla samolotu SU-7-BM - $f = 79$ Hz, dla samolotu SU-22 M4 – $A_{\max} = 1,93$ mm/s oraz $f = 125$ Hz

W grupie drgań o wysokich częstotliwościach dla obu samolotów zarejestrowane częstotliwości były zbliżone i wynosiły około 1260 Hz. Największe amplitudy drgań zarejestrowano przez geofony zlokalizowane w bezpośredniej bliskości goleni głównej statków powietrznych. Najmniejsze amplitudy zarejestrowano w geofonach usytuowanych bezpośrednio przy kole dziobowym samolotu. W badaniach nie stwierdzono zależności rozkładu amplitud prędkości od ustawienia kół samolotów w stosunku do osi symetrii elementu (płyty).

Interpretacja wyników badań poligonowych

Interpretując uzyskane wyniki badań poligonowych pod kątem ich szkodliwego wpływu na nawierzchnię

lotniskową, wykorzystano krajową normę PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoża na budynki oraz jej nowsza wersja PN-B – 02170: 2016 -12 (z późniejszymi zmianami). Wykorzystując tę normę autor miał świadomość tego, że ocena konstrukcji nawierzchni lotniskowej zgodnie z wymienioną normą jest tylko pewną a analogią do zjawisk drgań i ich skutków występujących a w obiektach kubaturowych. Dla obiektów budownictwa komunikacyjnego brakuje odpowiednich aktów normatywnych, choć wiele szczegółowych opracowań przygotowano między innymi dla: budowanego metra, obiektów mostowych, i innych. Oceniając szkodliwość wpływu drgań na nawierzchnię lotniskową zastosowano następujące kryteria:

- amplitud prędkości drgań,
- amplitud przyspieszeń – skala SWDI,
- wskaźników wstrząsów – skala Zellera,
- współczynników mocy wstrząsów- skala wibratorów. W praktyce najczęściej spotyka się skale, które za podstawę mają kryterium prędkości drgań. Według wielu autorów, krytyczne prędkości drgań powyżej, których występują uszkodzenia budowli wynoszą: dla budynków mieszkalnych według autorów Dworzaka i Sadowskiego 100 mm/s, dla budynków przemysłowych według Morrisa 40 mm/s, Kohlera 5 mm/s. Niektórzy z badających zagadnienie propagacji fal w ośrodkach złożonych do których można zaliczyć układ sprzężony podbudowa i podłożę gruntowe, określają prędkość drgań na poziomie 2 mm/s.

Analiza własna zagadnienia według, której maksymalna prędkość drgań wynosi 0,826 mm/s i porównanie jej wyników z propozycjami przytoczonych autorów jest zdecydowanie rozbieżna i jest niższa niż propozycje przytoczone wyżej. W dalszej

analizie w celu porównania uzyskanych rezultatów z innymi kryteriami przeliczono amplitudy prędkości na przyspieszenia według następujących skal : SWD-1 (Skala Wstrząsów Dynamicznych), skala Zellera - skala wskaźników wstrząsów i skala mocy wstrząsów (skala wibratorów). Obliczone wielkości są następujące:

1. Skala SWD-1. Przedział obliczonych przyspieszeń $b = (0,596 - 15, 176 \text{ cm s}^{-2})$ drgania te nie są groźne dla budynku. Dla maksymalnych przyspieszeń $b_{\max} = 41,00 \text{ cm s}^{-2}$, drgania rejestrowane dla budynku lecz nie groźna z punktu widzenia jego trwałości. Wyznaczono wielkości amplitud prędkości drgań i przyspieszeń z zależności (2).
2. Skala Zellera Dla maksymalnych wartości $\max = 21,28 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-3}$ – drgania słabe. Pozostałe wartości mieszczą się w granicach drgań nieodczuwalnych. Ocen dokonano wykorzystując zależność (3).

$$\chi = A_u^2 / f \quad (3)$$

w którym: A_u – amplituda przyspieszeń drgań w mm s^{-2} , χ - wskaźnik wstrząsu w $\text{mm}^2 \text{ s}^{-3}$, f – częstotliwość drgań Hz.

3. Skala wibratorów – skala ocen przyspieszeń i częstotliwości drgań jest kompilacją tych zjawisk – informuje o wrażliwości budowli na wstrząsy. Maksymalne wartości współczynnika mocy wstrząsów $S_{\max} = 23,22$ klasyfikuje zjawisko jako drgania słabe, bez uszkodzeń budowli, jednak po dłuższym okresie czasu zaobserwować można pojawienie się pierwszych mikrorys w budowlu. Współczynnik mocy wstrząsów wyznaczono z zależności (4).

$$S = 10 \log \cdot \Theta / \Theta_0 \quad (4)$$

w którym: Θ - jest wskaźnikiem mocy wstrząsów w $\text{cm}^2 \text{ s}^{-3}$, Θ_0 - jest porównawczym wskaźnikiem wstrząsów dla rozpatrywanej budowli, jego wartość można przyjąć jako $0,1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-3}$.

W celu określenia uwielokrotnienia

przemieszczeń pod wpływem oddziaływań dynamicznych statków powietrznych obliczono współczynnik uwielokrotnienia. Przyjęto założenie, że płytę z uwagi na dużą sztywność traktuje się jako układ o jednym stopniu swobody, podłoże modelowano sprężyną o określonej sztywności. Współczynnik dynamiczny wyznaczono z zależności (5).

$$K_d = 1/\sqrt{(1-\beta^2)+4b\beta^2} \quad (5)$$

w którym: K_d – współczynnik dynamiczny, $\beta = p/\omega$ – p – częstość siły wymuszającej, ω – częstość drgań własnych, b – wielkość tłumienia.

Częstość drgań własnych określono z zależności (6).

$$\omega = 4,98 (K/G)^{1/2} \quad (6)$$

w którym: G – wielkość obciążenia, K – stała sprężyny.

Wyznaczone częstości drgań własnych wynoszą odpowiednio:

- dla płyty na podbudowie betonowej $\omega = 25,89$ Hz,
- dla płyty na podbudowie z piasku zagęszczonego i gruntu $\omega = 16,70$ Hz.

Częstość drgań własnych gruntu wyznaczono z zależności (7).

$$f_z = 1/2\pi \sqrt{(C_z F/m)} \quad (7)$$

w którym: f_z – częstość drgań własnych gruntu, F – pole powierzchni płyty w m^2 , m – masa drgająca, C_z – współczynnik zależny od wymiarów płyty, nacisków na podłoże grunto-we oraz jego charakterystyki.

Wyznaczona częstość drgań własnych podłoża gruntowego wynosiła $f_z = 21,37$ Hz.

Obliczając współczynnik przyjęto wartość częstości drgań siły wymuszającej najbliższej wartości częstości drgań własnych, wynoszą one odpowiednio:

- dla płyt na podbudowie betono-

wej $\beta = 2,43$,

- dla płyt na podłożu piaszczysto-gruntowym $\beta = 3,77$. Dla gruntu rodzimego współczynnik ten wynosi $\beta = 2,97$.

Wpływ tłumienia jest bardzo istotny w obszarze bliskim rezonansu gdy $\beta = 1,0$, w związku z tym obliczone wartości tego współczynnika dla różnych układów konstrukcyjnych nawierzchni są powyżej rezonansu $\beta = 1,0$ w konsekwencji pominięto tłumienie. Przyjmując $b = 0$ wzór na wielkość współczynnika dynamicznego przyjmie postać (8).

$$K_d = 1/(1-\beta^2) \quad (8)$$

Liczbowa wielkość współczynnika dynamicznego dla rozpatrywanej konstrukcji nawierzchni lotniskowej wynosi odpowiednio:

- dla płyt na podbudowie betonowej $K_d = 0,204$,
- dla płyt na podłożu piaszczysto-gruntowym $K_d = 0,076$,
- dla gruntu rodzimego współczynnik wynosi $K_d = 0,130$.

Częstotliwości rezonansowe gruntów mogą zmieniać się wraz z głębokością i dla podłoża gruntowych pod nawierzchnie powinna być określana na poziomie gruntu nośnego, w którym lokalizuje się koryto nawierzchni. Znajomość częstości rezonansowych pozwala uniknąć nadmiernych drgań lub lokalnych osiadań płyty poddanej dynamicznym obciążeniom.

W analizowanym zagadnieniu wyraźnie zaobserwować można znaczący wpływ tłumienia drgań na układ konstrukcyjny nawierzchni. Wraz ze zwiększającą się odległością od źródła drgań ma miejsce obniżanie się wielkości amplitud drgań. Jedną z przyczyn zanikania amplitud wraz z odległością od źródła wymuszeń jest tłumienie geometryczne. Efektem tego jest rozpraszanie energii fal w półprzestrzeni sprężystej. Propagowane fale w ośrodku wraz z ich odległością wykazują zwiększenie się frontu fali i obniżenie gęstości

energii a więc zmniejszenie się amplitud drgań.

Wnioski

Zrealizowany zakres badań oraz ich interpretacja pozwalają na przedstawienie następujących wniosków:

1. Najczęściej występujące amplitudy występują w paśmie o częstotliwościach dla samolotu TS-11- Iskra od 95 do 315 Hz, dla samolotu SU-7-BM od 85 do 270 Hz, dla samolotu SU-22M4 od 62 do 125 Hz.
2. Największe amplitudy zarejestrowano przez czujniki umieszczone bezpośrednio przy kołach goleni głównej.
3. Częstości drgań wywołanych przez statki powietrzne wykorzystane w badaniach nie wykazują zasadniczych różnic. Występujące różnice częstości spowodowane są głównie własnościami fizycznymi
4. i mechanicznymi podłoża gruntowego.
5. Nie stwierdzono istotnych różnic drgań w zależności od rodzaju podbudowy. W analizie zjawiska dostrzeżono różne czynniki, które zwracają uwagę na to, że częstość odpowiadająca maksymalnej amplitudzie drgań podłoża gruntowego i podbudowy betonowej nie jest jedyną miarą zjawiska. Zależy również od rozkładu obciążeń przenoszonych ze statku powietrznego na nawierzchnię, połączenia „sprzężenia między pracującymi samolotami a nawierzchnią” jak również –sztywności przestrzennej podłoża i nawierzchni.
6. Maksymalne wielkości amplitud zarejestrowano podczas pracy silników statków powietrznych zbliżonym do przedstartowego reżimu pracy. Amplitudy prędkości są większe dla samolotu o większej masie startowej. Największa z zarejestrowanych amplitud wynosi $A = 193$ mm/s i $f = 125$ Hz, i jest konsekwencją pracy statku powietrznego na „ciągu”

możliwym do uzyskania w próbie poligonowej.

7. Analiza zjawiska dla statków powietrznych pozwala wyróżnić dwa zakresy drgań: o częstotliwościach niskich od 60 do 400 Hz i o częstotliwościach wysokich 600 do 1200 Hz.
8. Obliczone wielkości współczynnika dynamicznego odniesiono do rodzaju zastosowanego układu warstwowego konstrukcji – głównie podłoża gruntowego i podbudowy. Liczbowe wielkości współczynnika dynamicznego zawierają się w granicach $K_d = 0,076$ do $0,204$, są one stosunkowo niskie. Świadczy to o tym, że uwielokrotnienia przemieszczeń jest stosunkowo małe. Związana z tym częstotliwość siły wymuszającej jest powyżej rezonansu tj. wówczas gdy $\beta > 1$.

Przeprowadzone pomiary poligonowe, są jedynymi w kraju, analiza zjawiska odpowiada na pewne zjawiska, które dotyczą dynamicznej diagnostyki nawierzchni lotniskowych. Dziedzina dynamicznego oddziaływania drgań na budowę kubaturowego jest już dobrze opracowana, w dziedzinie budownictwa komunikacyjnego – lotniskowego, prac z tego zakresu jest bardzo mało a prezentowana w tej publikacji problematyka należy do nielicznych. Analiza dynamicznych oddziaływań na nawierzchnię lotniskową powinna uwzględniać wpływ tych zjawisk, również na otaczającą infrastrukturę techniczną. Przedstawione rozważania uzasadniają potrzebę rozwijania nowego kierunku badawczego związanego z dynamiczną diagnostyką takich budowli. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Ciesielski R. Ujęcie obliczeniowe oraz ocena wpływu drgań i wstrząsów pochodzących ze źródeł zewnętrznych na niektóre typy budowli. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej- Budownictwo Lądowe Z.1.
- [2] Kawecki J., Stypuła K.: Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2013.
- [3] Nita P.: Dynamiczne oddziaływanie pracującego statku powietrznego na betonowa nawierzchnię lotniskową. Acta Sci. Pol. Architektura 16 930 2017 str. 119-127.
- [4] PN-B- 02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoża na budynki.

REKLAMA



CZAS NA INNOWACYJNE BUDOWNICTWO

Oferujemy profesjonalne usługi z zakresu:

- budowy infrastruktury komunikacyjnej, sieci instalacyjnych i obiektów hydrotechnicznych,
- wykonywania pomiarów geodezyjnych, tworzenia map do celów projektowych, wytyczenia budynku i sieci.



W BUDOWNICTWIE WYBIERZ FIRME,
KTÓREJ MOŻESZ ZAUFAC

Zobacz, co już wybudowaliśmy
i dla kogo pracowaliśmy:
www.gm-roads.pl

Biuro:

ul. Krzemieniecka 47,
54-613 Wrocław

Budownictwo inżynieryjne:

tel.: (71) 300 12 40
e-mail: info@gm-roads.pl

Geodezja:

tel.: 697 660 932
e-mail: m.wozniak@gm-roads.com

Siedziba firmy:

ul. Wrocławska 41, Łażany
58-130 Żarów