

STANISŁAW MENTEL
Katedra Budowy Mostów
Politechniki Śląskiej

WPŁYW KONSTRUKCYJNYCH SKŁADNIKÓW TŁUMIENIA NA DRGANIA BELEK MOSTOWYCH

1. Wstęp

Ideą przewodnią racjonalnego projektowania konstrukcji w dużej mierze jest dążenie do możliwie wszechstronnego i wiernego uwzględnienia rzeczywistych warunków pracy konstrukcji.

Ustroje mostowe, przenoszące duże obciążenia o charakterze dynamicznym, wymagają więc dla ich racjonalnego projektowania pełnej znajomości całokształtu zjawisk dynamicznych, jakie zachodzą w czasie ich eksploatacji.

Zainteresowanie problemami dynamiki mostów coraz bardziej rośnie. Stanowi to niewątpliwie dowód ważności tego zagadnienia. Również i obecna Konferencja Dynamiki Mostów jest tego wyrazem.

Przeświadczenie o potrzebie zastąpienia lub uzupełnienia statycznego obliczenia mostów przez obliczanie dynamiczne staje się coraz bardziej powszechne. Przedmiotem dyskusji w tym względzie przestaje być stopniowo sam podstawiony problem, natomiast dyskutuje się już zakres i metody jego realizacji.

Istnieją już bowiem co do tego realne przesłanki. Świadczyć o tym może stale rosnąca liczba naukowych opracowań problemu i modyfikowanie wyników w kierunku możliwości praktycznego ich wykorzystania.

Jest rzeczą zrozumiałą iż środkiem ciężkości zainteresowań jest i będzie na razie problem podstawowy: istota i forma współpracy dynamicznej między konstrukcją i obciążeniem, między mostem a pojazdem oraz matematyczna forma ujęcia zjawisk, które w toku tej współpracy zachodzą.

• Należy jednak uświadomić sobie, iż naturalnym dążeniem w dziedzinie dynamiki mostów będzie w przyszłości nie tylko poznanie natury procesów dynamicznych i ich rejestracja. Należy zatem oczekiwać dążenia do takiego kształtowania samych konstrukcji mostowych, aby zjawiska dynamiczne rozwijały się w nich w nakreślonych z góry granicach, determinowanych przez warunki eksploatacyjne. Będzie to niejako "aktywna" strona dynamiki mostów.

Aby ten cel mógł być osiągnięty, nieodzowna jest pełna znajomość wszystkich czynników, które w swój sposób wpływają na ogólny charakter dynamicznej pracy mostu. Jednym spośród tychże czynników jest związek między formą konstrukcyjną mostu, a charakterem jego pracy dynamicznej w założonych warunkach eksploatacyjnych. Z problemem tym wiąże się zagadnienie tłumienia drgań w mostach.

2. Zjawisko tłumienia - uwagi ogólne

W pracy dynamicznej mostów wyróżnić można szereg czynników tłumiących. W ogólności można je umownie podzielić na dwie grupy:

- tłumienie niekonstrukcyjne,
- tłumienie konstrukcyjne.

Do grupy pierwszej zaliczyć można tłumienie materiałowe, tłumiący wpływ środowiska, w którym przebiega proces drgań oraz tłumienie wywołane wymianą energii między układem drgającym i wzbudzającym, w przypadku mostu - między jego konstrukcją i pojazdem.

Ta grupa czynników tłumiących, a wśród nich tłumienie materiałowe, była dotąd głównym przedmiotem przeważającej liczby opracowań naukowych, dotyczących zjawiska tłumienia. Rezultatem jest sformułowanie hipotez, wyjaśniających naturę i mechanizm zjawiska oraz ustalenie związków matematycznych, zjawisko to opisujących. Problem ten nie jest na pewno jeszcze zamknięty, ale ogólnie biorąc, pozwala na zorientowanie się w jakościowej i ilościowej stronie zjawiska tłumienia materiałowego.

Inaczej jest w odniesieniu do tłumienia konstrukcyjnego. Mianem tym określa się tę stronę zjawiska tłumienia, która determinowana jest przez formę konstrukcyjną drgającego układu i współdziałania jego elementów składowych, zachodzące w procesie drgań. Ta grupa zjawisk tłumienia dopiero od niedawna stała się przedmiotem zainteresowań naukowych, choć w szeregu wcześniejszych prac doszukać się można intuicyjnego stwierdzenia ważności tego zagadnienia.

Od razu wspomnieć należy, iż badania nad zjawiskiem tłumienia materiałowego również nie są pozbawione wpływu czynnika konstrukcyjnego. Świadczą o tym rozbieżności wyników, jakie uzyskiwano w toku badań próbek, wykonanych z tego samego materiału, lecz posiadających odmienną formę konstrukcyjną.

Do grupy konstrukcyjnych czynników tłumiących w mostach zaliczyć należy:

- wpływ kształtu i wymiarów elementów składowych ustroju,
- wpływ schematu statycznego,
- wpływ typu ułożyskowania i dynamicznych charakterystyk podpór i podłoża gruntowego,
- wpływ liczby, rozmieszczenia i stanu styków i połączeń,
- wpływ ilości, usytuowania, sztywności i formy konstrukcyjnej więzi poprzecznych w układach dwu- i wielobelkowych,
- wpływ rodzaju pomostu i nawierzchni,
- wpływ podstawowych związków wymiarowych, a więc stosunku szerokości do rozpiętości oraz skosu.

To zestawienie z pewnością jeszcze niepełne, obrazuje złożoność zagadnienia. Wymienione czynniki nie posiadają dotychczas syntetycznego opracowania. Wyniki, nielicznych zresztą, badań z tej dziedziny nie zawsze są porównywalne, co wynika z niejednorodności badań prowadzonych w różnych ośrodkach.

Pewien pogląd na zagadnienie tłumienia konstrukcyjnego dają wyniki badań istniejących obiektów mostowych. Wyniki te jednakże z konieczności dają globalną (sumaryczną) wielkość tłumienia konstrukcyjnego i niekonstrukcyjnego łącznie. Wyodrębnienie wpływu czynników składowych, o ile w ogóle jest tu możliwe,

może być wykonane jedynie orientacyjnie z dokładnością niewystarczającą dla celów naukowych.

Inną stroną zagadnienia jest ustalenie zasad matematycznego odwzorowania udziału czynnika tłumienia w ogólnym procesie dynamicznej pracy drgającego ustroju mostowego.

Najbardziej rozpowszechnioną w analizie drgań jest sformułowana jeszcze w ubiegłym stuleciu hipoteza Voigta, zakładająca związek proporcjonalności między siłą tłumienia a pierwszą potęgą szybkości odkształcenia ustroju drgającego.

Prawdą jest, iż takie założenie sprzyja uzyskiwaniu zamkniętych postaci odwzorowań matematycznych dla szeregu procesów dynamicznych. Jeśli nawet przyjąć, iż dla pewnego zakresu zjawiska drgań hipoteza ta stanowi dostateczne przybliżenie dla określenia wpływu tłumienia globalnego nie może ona jednak stanowić narzędzia dla skutecznej oceny współudziału poszczególnych czynników tłumienia.

Tak więc i to zagadnienie pozostaje nadal otwarte. Złożoność omawianego problemu wymagać będzie niewątpliwie rozlicznych i długotrwałych prac badawczych wielu ośrodków. W ramach tematu "Metody dynamicznego obliczania mostów" w Katedrze Budowy Mostów tutejszej Politechniki przeprowadzone zostały badania nad niektórymi, spośród wymienionych, czynnikami tłumienia konstrukcyjnego.

3. Program, zakres i opis badań

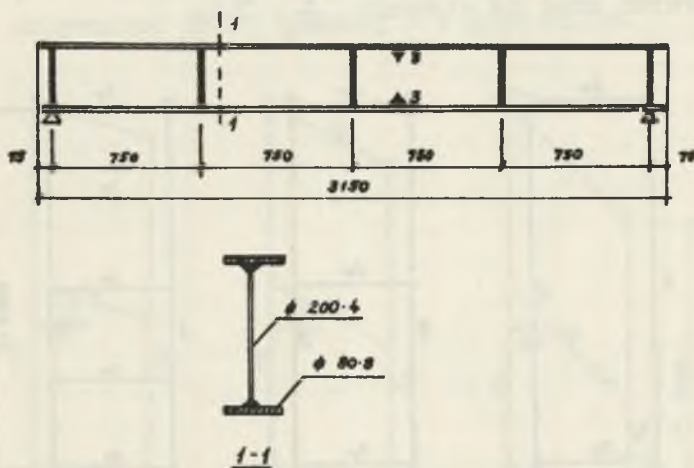
Programem badań objęte zostały czynniki następujące:

- wpływ rodzaju łożysk,
- wpływ liczby i sztywności poprzecznic,
- wpływ skosu.

Ogółem zakresem badań objętych zostało 35 belek w układach jedno- i dwubelkowych.

Myślą przewodnią było uzyskanie takich układów, które pozwoliłyby na analizę jednego czynnika tłumiącego przy możliwie jak najdalej idącym wyizolowaniu czynników pozostałych.

Badania przeprowadzono na stalowych belkach wolnopodpartych o rozpiętości $l = 3,0$ m, wykonanych w postaci blachownic spawanych.



Rys. 1. Podstawowa belka modelowa—konstrukcja

Ocenę wpływu rodzaju łożysk przeprowadzono na belkach pojedynczych, przy zastosowaniu sześciu rodzajów łożysk:

Łożyska stalowe:

- płaskie z przekładką z papy,
- płaskie bez przekładki,
- styczne,
- toczne,

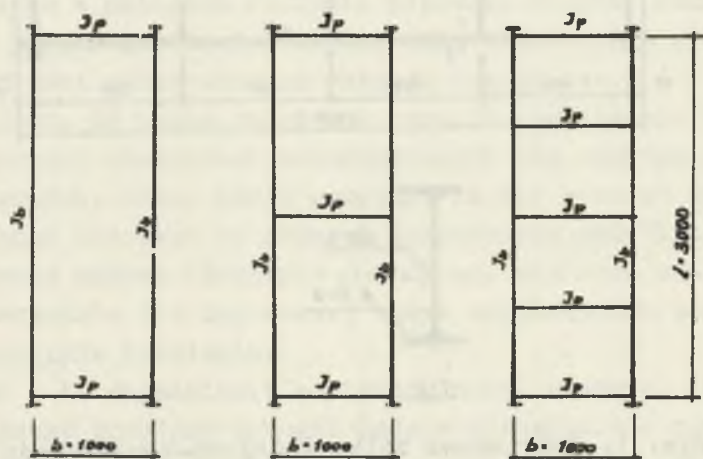
i łożyska gumowe:

- 2-warstwowe,
- 4-warstwowe.

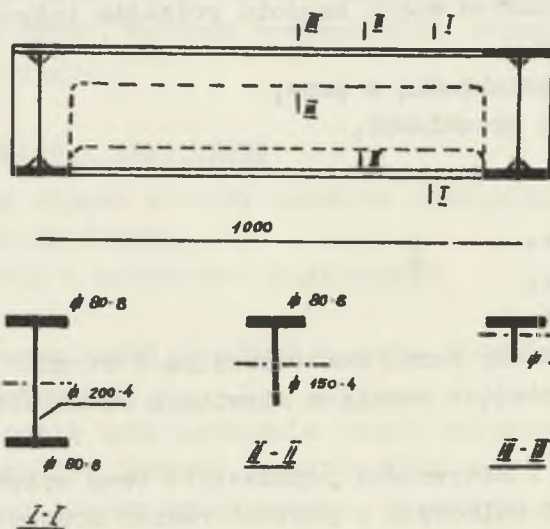
Łożyska posiadały formę konstrukcyjną i stopień dokładności obróbki, odpowiadające warunkom stawianym rzeczywistym łożyskom mostowym.

Wpływ liczby i sztywności poprzecznicy oraz wpływ skosu badano na układach 2-belkowych o postaci rusztu mostowego, pozbawionego pokładu i nawierzchni.

Wpływ liczby poprzecznic określano na układach 2-belkowych o rzucie prostokątnym. Liczbę poprzecznic różnicowano kolejno od 2-5 cm. Poprzecznicze posiadały jednakową sztywność, wynikającą z ich wskaźników geometrycznych identycznych jak w belkach głównych oraz ze stosunku $\frac{l}{b} = 3,0$.



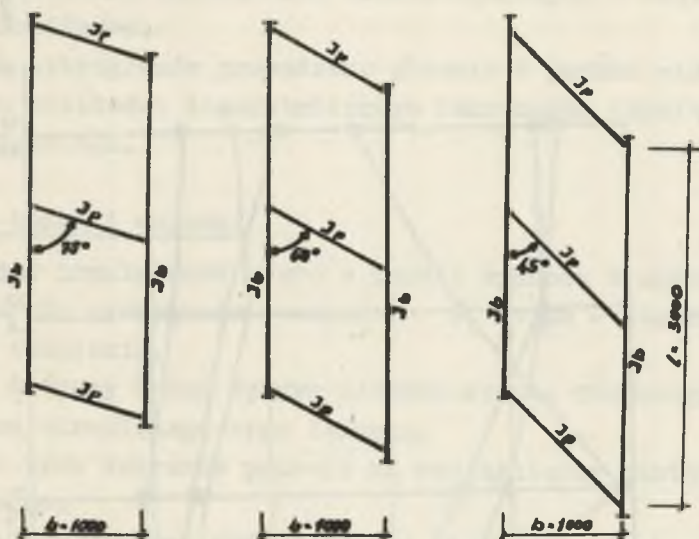
Rys. 2. Układy 2-belkowe o zmiennej liczbie poprzecznic



Rys. 3. Kolejne różnicowanie przekroju poprzecznic

Wpływ sztywności poprzecznic badano na układach, jak w przypadku poprzednim, lecz przy stałej liczbie poprzecznic równej 5.

Sztywności poprzecznic sukcesywnie różnicowano przez ich podcinanie, w zakresie $K_p = (3,0 \div 0,3)K_b$ gdzie K_p i K_b odpowiednio - sztywności belki głównej i poprzecznicy.



Rys. 4. Schematy modeli ukośnych

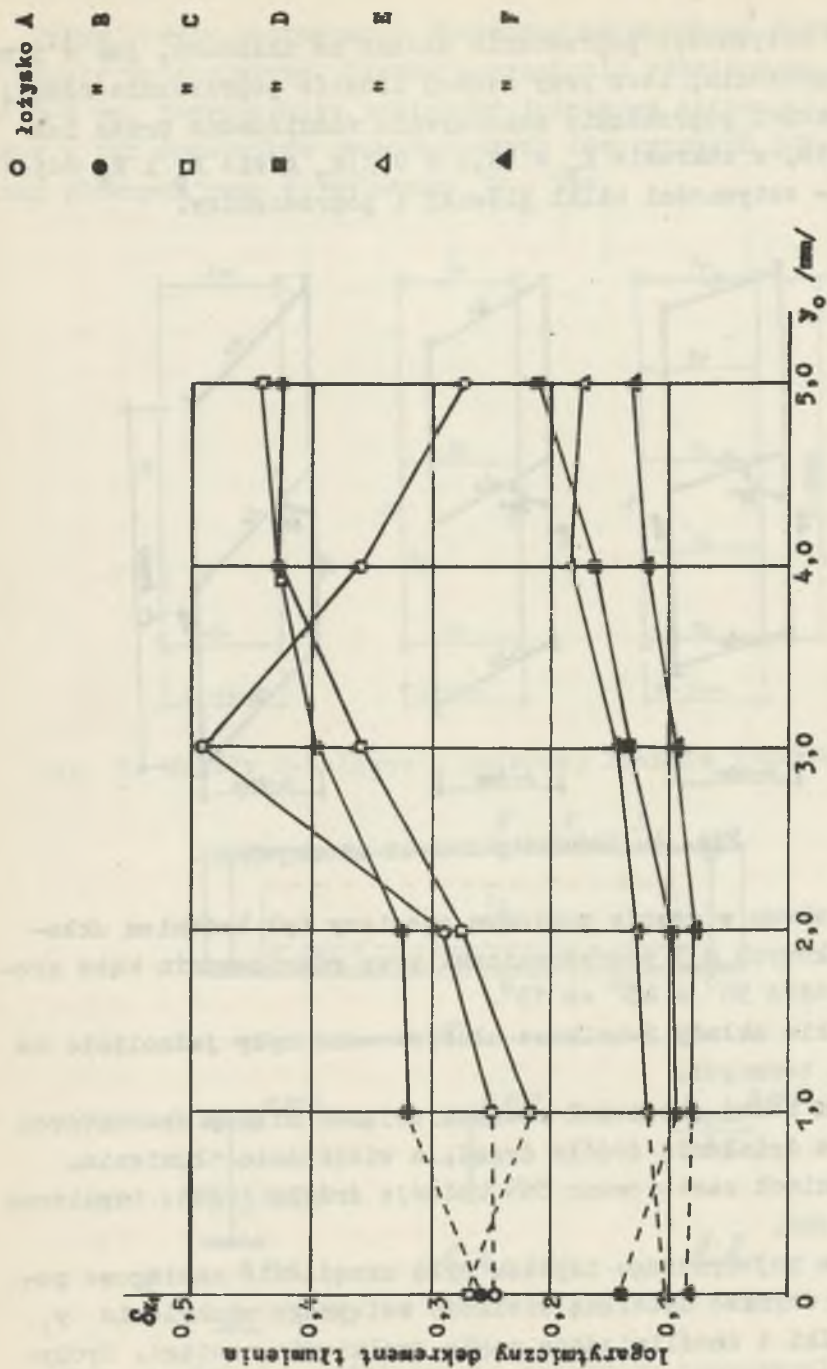
Wpływ skosu w rzucie poziomym oceniany był badaniem układów 2-belkowych z 3 poprzecznikami przy różnicowaniu kąta skosu w zakresie $90^\circ \div 45^\circ$ co 15° .

Wszystkie układy 2-belkowe ułożyskowane były jednolicie na łożyskach tocznych.

Program badań obejmował również związek między charakterem i zakresem działania źródła drgań, a wielkością tłumienia.

W badaniach zastosowano dwa rodzaje źródła drgań: impulsowe i pulsacyjne.

Źródłem pojedynczego impulsu było urządzenie naciągowe pozwalające uzyskać ustaloną wielkość wstępnego wychylenia y_0 środka belki i umożliwiające nagłe zwolnienie naciągu. Wychylenia y_0 różnicowane były w zakresie $1 \div 5$ mm co 1 mm.



Rys. 5. Badania impulsowe belek pojedynozych - zależność log. dekr. tłumienia od wvchwienia γ

Zródłem drgań wymuszonych sinusoidalnych był mechaniczny pulsator przyczepny. Badania prowadzono przy stałej wielkości amplitudy siły wymuszającej $P_0 = 100 \text{ kg}$ i częstotliwości impulsów w zakresie 10–40 Hz ze stopniowaniem co 10 Hz.

Wykresy drgań własnych oraz drgań wymuszonych uzyskiwano przez zastosowanie tensometrów elektrooporowych i rejestratora firmy Hottinger.

Analizę wibrogramów prowadzono głównie z punktu widzenia określenia wielkości logarytmicznego dekrementu tłumienia dla każdego przebiegu.

4. Wyniki badań i wnioski

Wyniki badań impulsowych ujęto w formie wykresu w układzie współrzędnych: wychylenie początkowo y_0 w mm – logarytmiczny dekrement tłumienia.

Rys. 5 dotyczy badań wpływu ułożyskowania. Poszczególne linie dotyczą określonego typu łożyska.

Analiza tych wykresów pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- a) istnieje wyraźne zróżnicowanie wielkości tłumienia w zależności od rodzaju łożyska,
- b) łożyska o najprostszej konstrukcji (płaskie i styczne) powodują znacznie większe tłumienie drgań ustroju niż łożyska o doskonalszej konstrukcji (toczne i gumowe). Zjawisko to, choć intuicyjnie oczywiste, jest z jednej strony sprawdzianem przebiegu badań, z drugiej zaś – pozwala na przewidywanie znacznego wpływu tłumienia konstrukcyjnego w mostach małej rozpiętości, posiadających łożyska o najprostszej konstrukcji,
- c) jeżeli przyjąć za 100% wielkość tłumienia ustalonego w toku zreferowanych badań oraz przyjąć wielkość tłumienia materiałowego z prac cytowanych w literaturze technicznej, to wpływ konstrukcyjnego tłumienia łożysk wyrazi się liczbą:
 - dla łożyska o doskonalszej konstrukcji 30–50%,
 - dla łożysk o prymitywnej konstrukcji ok. 80%.

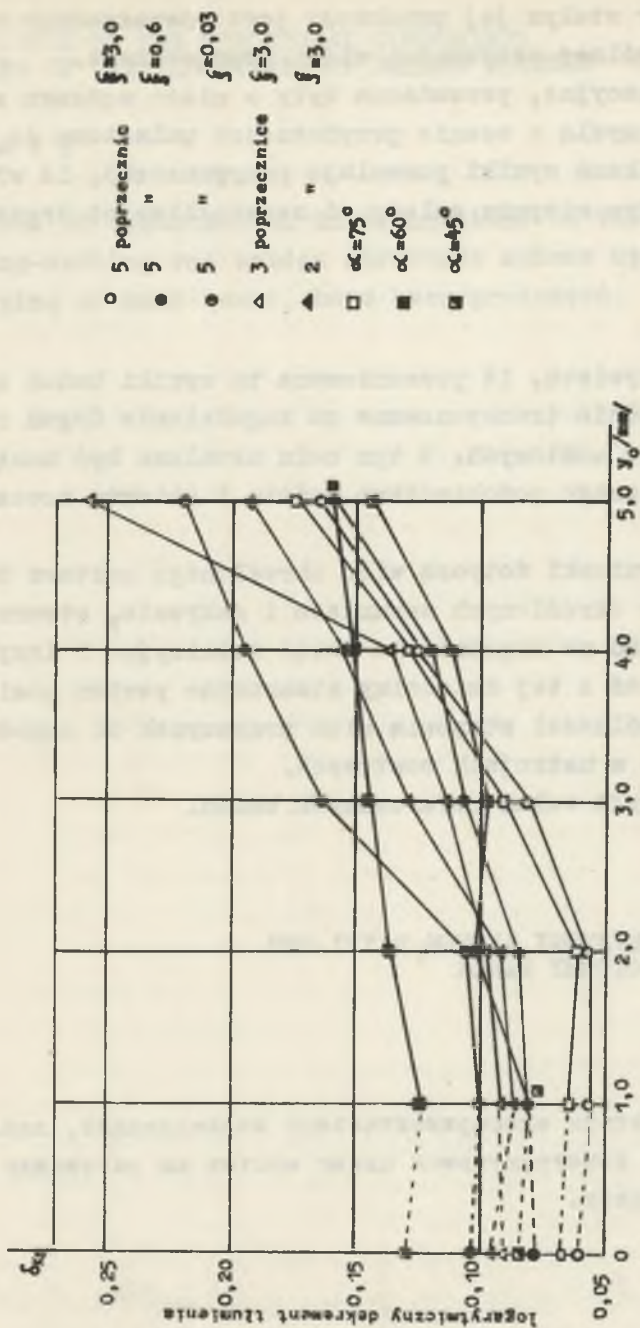
- d) dla zastosowanych w toku badań typów łożysk widać wyraźne uzależnienie wielkości tłumienia od wielkości początkowego wychylenia y_0 w całym zastosowanym zakresie $y_0 = 1-5$ mm.

Odstępstwem od tej reguły jest wykres dla łożyska stalowego z przekładką z papy, dla którego w zakresie wychyleń $y_0 = 3-5$ mm widać wyraźny spadek dekrementu. Przyczyny tego zjawiska szukać należy w zgnioście przekładki, która po pewnej ilości kolejnych cykli drgań zmienia swoją właściwość, wpływając coraz mniej wydatnie na wielkość współczynnika tarcia w łożysku.

Rys. 6 przedstawia wyniki badań układów 2-belkowych.

Wnioski wypływające z analizy tych wyników i wykresów są następujące:

- a) podobnie jak w układach jednobelkowych, badanie układów dwubelkowych wykazało wyraźny wzrost wielkości logarytmicznego dekrementu tłumienia drgań, przebiegający z wzrostem wielkości początkowego wychylenia belki y_0 dla zakresu $y_0 = 1-5$ mm,
- b) w układach o stałej liczbie poprzecznic równej 5, lecz o zmiennej sztywności poprzecznic występuje wzrost dekrementu z obniżaniem się sztywności poprzecznic. Zjawisko to można rozumieć w ten sposób, iż obniżanie sztywności więzi poprzecznych sprzyja coraz wyraźniejszemu przesuwaniu się faz ruchu drgającego obu składowych belek podłużnych,
- c) traktując zmniejszanie liczby poprzecznic jako sukcesywną redukcję sumarycznej sztywności więzi poprzecznych, wniosek b) znajduje tu swoje potwierdzenie,
- d) największy wzrost dekrementu tłumienia zaobserwowany został w układach dwubelkowych skośnych dla kąta skosu $\alpha = 60^\circ$. Krzywe dekrementów tłumienia dla $\alpha = 75^\circ$ i $\alpha = 45^\circ$ układają się poniżej wymienionej krzywej, jednakże z tendencją do wzrostu w miarę powiększania się skosu modelu. I w tym przypadku, dla przyjętego układu poprzecznic środkowej, można szukać potwierdzenia wniosku b), o ile przyjąć, iż zwiększanie długości poprzecz-



Rys. 6. Log. dekrementy tłumienia układów dwubelkowych

nicy przy stałym jej przekroju jest równoznaczne z redukcją ogólnej sztywności więzi poprzecznych.

Badania pulsacyjne, prowadzone były w nieco węższym zakresie, głównie z myślą o ocenie przydatności pulsatora do badań tego typu. Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, iż wielkość tłumienia w małym stopniu zależy od częstotliwości drgań wymuszonych.

5. Zakończenie

Jest rzeczą oczywistą, iż prezentowane tu wyniki badań nie mogą być bezpośrednio transponowane na zagadnienia drgań rzeczywistych obiektów mostowych. W tym celu ustalone być muszą związki dynamicznego podobieństwa modelu i obiektu rzeczywistego.

Jakkolwiek wnioski dotyczą więc określonego zestawu badanych układów, w określonych warunkach i zakresie, stwarzają one jednak pogląd na zagadnienia dotąd intuicyjne i inspirują do dalszych badań z tej dziedziny stwarzając pewien poziom odniesienia. W ogólności stanowią więc przyczynek do zagadnienia tłumienia drgań w ustrojach mostowych.

To właśnie było celem referowanych badań.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЧЛЕНОВ ЗАТУХАНИЙ НА КОЛЕБАНИЯ МОСТОВЫХ БАЛОК

Резюме

Приведено результаты экспериментальных исследований, влияния распределения и конструктивной схемы мостов на затухание колебаний главных балок.

THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL COMPONENTS
OF DAMPING ON THE VIBRATIONS OF BRIDGE GIRDERS

S u m m a r y

The results of experimental investigations on the influence of bearing-setting and bridge structure scheme upon the vibration damping of main beams, have been presented.