

Streszczenie

Rzeczywista struktura cienkościenna jest zawsze obarczona różnego typu niedokładnościami, których źródła to: błędy kształtu, zamocowania oraz przyłożenia obciążenia. Śledząc zachowanie ściskanej struktury tego typu na zakrytycznej ścieżce równowagi można stwierdzić, że nie występuje efekt bifurkacji. Powstaje więc problem, jak oszacować wartość najniższego obciążenia bifurkacyjnego ściskanej realnej struktury cienkościennej, gdy ugięcia wstępne nie są równe zeru. Problem ten jest szczególnie ważny w badaniach eksperymentalnych. W rozważaniach teoretycznych konstrukcji doskonałej wystarczy rozwiązać liniowe zagadnienie własne oraz określić wartości i postacie własne.

W prezentowanej pracy opracowano metodykę wyznaczania przybliżonej wartości najniższego obciążenia bifurkacyjnego ściskanego słupa cienkościennego o przekroju zetowym obciążonego ugięciami wstępnymi, których amplituda nie przekracza połowy grubości ściany. Przyjęto, że ściskanie wywołane jest poprzez równomierne skrócenie swobodnie podpartych słupów. Procedura ta może być stosowana do wszystkich krótkich cienkościennych słupów poddanych ścisaniu. Wykazano, że obciążenie odpowiadające zmianie sztywności realnej struktury na krzywej pracy (wykres siły ściskającej w funkcji skrócenia) z dużą dokładnością wyznacza obciążenie bifurkacyjne. Uzyskane wyniki porównano z wartościami odpowiadającymi najniższym obciążeniom bifurkacyjnym wyznaczonymi zgodnie z powszechnie stosowanymi metodami bazującymi na zakrytycznych ścieżkach równowagi (tj. metoda $P-w^2$, metoda Koitera, metoda punktu przegięcia i metoda $P-w$).

W celu wyznaczenia wartości najniższych obciążeń bifurkacyjnych dla rzeczywistych zetowników obarczonych niedokładnościami rozwiązano nieliniowy problem wybożenia z zastosowaniem metody elementów skończonych. Wyznaczono krzywe pracy i ścieżki równowagi, które posłużyły do przetestowania wrażliwości metod szacowania obciążeń bifurkacyjnych na amplitudę ugięć wstępnych. Dobrano niesymetryczne konfiguracje warstw laminatu, które wykazywały dodatkowo różne typy sprzężenia stanu błonowego oraz zgięciowego. Prześledzono jako wpływają te sprzężenia na zachowanie zetowników w zakresie krytycznym i zakrytycznym.

W drugim etapie prac przeprowadzono badania eksperymentalne zetowników na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej. W celu wyznaczenia przemieszczeń zastosowano system Aramis, który bezdotykowo rejestrował przemieszczenia w przestrzeni 3D oraz wartość siły ściskającej. Wyznaczone w badaniach eksperymentalnych krzywe pracy oraz ścieżki równowagi pozwoliły oszacować wartości obciążeń bifurkacyjnych metodą $P-\Delta$, metodą $P-w^2$ oraz metodą punktu przegięcia. Uzyskano dla obu zastosowanych metod rozwiązania nieliniowego zadania utraty stateczności bardzo dobrą zgodność wyników.