УДК 534.8
DOI: 10.62717/2221-4550-2025-1-009

Пономаренко Є.С.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID 0000-0002-6799-7664
E-mail: jenyaynex@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ВКЛЮЧЕННЯМ ПРЯМОКУТНИХ БАЛОК МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. Проведено моделювання механічної конструкції з двох прямокутних балок методом скінчених елементів на основі інструментів та засобів програми ANSYS. Створено геометричну модель прототипу конструкції частини літака, для якої, після встановлення відповідних матеріалів, методом скінчених елементів проведено три типи інженерного аналізу модальний, гармонічний та акустичний. Додатково всередині конструкції додано джерело збудження хвильових коливань за визначених граничних умов, та обчислено 6 перших власних частот (мод коливань). Виявлено, що на частотах 178,19 Гц, 259,03 Гц та 259,76 Гц загальні переміщення досягають в певних областях конструкції максимальних значень, саме в центрі бічної грані і вони дорівнюють в нормованому вигляді — 0,096515, 0,13827, 0,17195, а це в перспективі може призвести до руйнування, внаслідок втоми конструкції. За результатами гармонічного аналізу для частоти 20000 Гц отримано, що найбільші значення коливальної швидкості спостерігаються, саме в епіцентрі створення звукових коливань, що підтверджується практикою.

Ключові слова: метод скінчених елементів, коливання, переміщення, аналіз, конструкція, балка, втома.

E. Ponomarenko
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
ORCID 0000-0002-6799-7664
E-mail: jenyaynex@gmail.com

MODELING OF A MECHANICAL STRUCTURE WITH THE INCLUSION OF RECTANGULAR BEAMS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. The mechanical structure of two rectangular beams was modeled by the finite element method based on the tools and resources of the ANSYS program. A geometric model of the prototype structure of an airplane part was created, for which, after determining the appropriate materials, three types of engineering analysis were carried out by the finite element method modal, harmonic, and acoustic. Additionally, a source of excitation of wave oscillations under certain boundary conditions was added inside the structure, and the first 6 natural frequencies (vibration modes) were calculated. It is found that at frequencies of 178.19 Hz, 259.03 Hz, and 259.76 Hz, the total displacements reach maximum values in certain areas of the structure, namely in the center of the side face, and they are equal in normalized form to 0.096515, 0.13827, 0.17195, which in the future can lead to destruction due to structural fatigue. According to the results of the harmonic analysis for a frequency of 20,000 Hz, it was obtained that the highest values of the oscillatory velocity are observed at the epicenter of the creation of sound vibrations, which is confirmed by practice.

Keywords: finite element method, vibrations, displacements, analysis, structure, beam, fatigue.

При проектуванні простих та складних механічних систем і конструкцій все частіше дослідники проводять попереднє прогнозування їх механічних та акустичних характеристик. Така стратегія дозволяє наперед досить просто визначити з певною достовірністю параметри надійності та довговічності конструкції, а також з'ясувати можливі критичні ділянки розташування тріщин та надмірних деформацій при різних видах напружено-деформованого стану. Звісно, саме прогнозування характеристик цих елементів не замінює проведення експерименту в умовах, наближених до реальних. Разом з тим, так оцінка механічних та акустичних характеристик конструкцій найчастіше передбачає, як один з можливих способів, застосування чисельних наближених методів. Одним з таких чисельних методів є метод скінчених елементів.

В роботі [1] показано результати розрахунку нелінійного моделювання матеріалів високоміцної залізобетонної балки, на основі методу скінчених елементів. Побудовано графіки залежності навантаження балки від прогину. Більш складна конструкція з балок розглянута в дослідженні [2]. Коробчасті балки, в даному випадку, розглянуто як складові прогонної будови балочного моста (5 прольотів по 32 м кожний). В якості навантаження обрано залізничний потяг і статичний аналіз за цих умов, виконано з використанням створеної скінченно-елементної моделі ANSYS. Окремо, визначено результати прогинів та напружень конструкції балочного моста при різних комбінаціях навантаження. Питанням динамічного моделювання балочної конструкції з нелінійними з'єднаннями присвячена робота [3]. Знайдено власні частоти та форми коливань методом скінченних елементів на основі інструментів програми ANSYS. Додатково, отримано динамічні характеристики для конструкції з різними видами шарнірів.

Таким чином, аналізуючи наукові дослідження, які розглянуто вище, все ж залишається відкритим питання про моделювання в середовищі ANSYS механічної конструкції прототипу блоку літака Boeing 777-200, де додано дві балочні системи з окремими умовами закріплення і за умови дії фіксованої направляючої сили. Крім цього, є нагальна необхідність провести для цієї конструкції статичний аналіз на основі методу скінченних елементів з оцінкою деяких механічних та акустичних характеристик.

На рисунку 1 графічно показано зображення механічної конструкції прототипу приміщення блоку літака Boeing 777-200 з додаванням двох балочних систем з окремими умовами закріплення та розміщенням всередині джерела звуку.

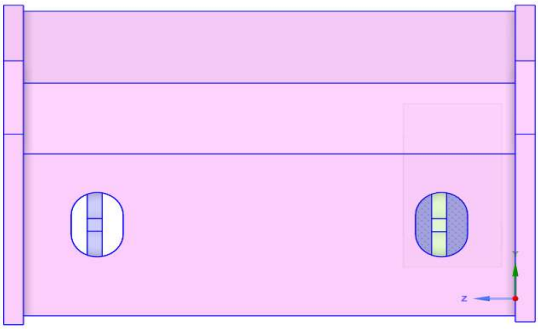

Рисунок 1. — Прототип блоку приміщення

Побудовано структурну схему з чотирьох модулів «розв'язувачів», яка дозволила провести три види інженерних аналізів модальний аналіз, гармонічний аналіз та акустичний аналіз. Обчислено шість власних частот (мод) для вкладення джерела збудження хвильових коливань.

Акустичний аналіз на основі підключеного окремого модуля Harmonic Acoustics дозволив побудувати контурні діаграми акустичного тиску. Знайдено, що на деяких частотах аналізу спостерігається збільшення середнього значення акустичного тиску по площині конструкції. Наприклад, така ситуація спостерігається на частоті 16800 Гц. В даному випадку, слід відмітити, що отримане середнє значення нормованого акустичного тиску (діапазон нормування від -1 до +1) є доволі нелінійним за результатами чисельного моделювання, і потребує все ж додаткової перевірки в рамках реального експерименту у випробувальній лабораторії.

Список використаних джерел

1. Pandimani, Ponnada, M., Geddada, Y. Numerical nonlinear modeling and simulations of high strength reinforced concrete beams using ANSYS. J Build Rehabil. 2022. Vol. 22, № 7. DOI: 10.1007/s41024-021-00155-w
2. Shaikh, M., Nallasivam, K. Static analysis of box-girder bridge under the influence of Indian railway vehicle loading using ANSYS finite element model. ABEN. 2022. Vol. 25, № 3. DOI: 10.1186/s43251-022-00076-9
3. Wei, J., Cao, D., Huang, H. Dynamics of a multi-beam structure connected with nonlinear joints modelling and simulation. Arch Appl Mech. 2018. № 88. P. 1059-1074. DOI: 10.1007/s00419-018-1358-x