

МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ АНІЗОТРОПНИХ В'ЯЗКОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАШИН

В.Г. МАРТИНЕНКО^{1*}, Г.І. ЛЬВОВ²

¹ аспірант кафедри Динаміки та міцності машин, НТУ «ХПИ», Харків, УКРАЇНА

² завідувач кафедри Динаміки та міцності машин, професор, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ», Харків, УКРАЇНА

*email: martynenko.volodymyr@gmail.com

Тонкі оболонки, виготовлені з полімерних армованих композиційних матеріалів (ПАКМ), завдяки їх високим міцнісним властивостям та порівняно низьким масовим характеристикам [1] знаходять поширення у якості елементів високонавантажених машин (наприклад, лопаті та корпуси вітрогенераторів, лопаті робочого колеса та спрямляючого апарату вентиляторної ступені турбореактивних двигунів General Electric, обшивка планерів новітніх літаків та космічних апаратів, щогли та корпуси великих яхт, тощо).

Через спрямованість армування ПАКМ та полімерну природу матриці при підвищених температурах вони проявляють ортотропні в'язкопружні властивості [2]. При цьому в'язкопружні переміщення та деформації можуть бути порівняними із пружними значеннями та навіть в рази перевищувати їх [3]. Внаслідок цього виникає потреба точного моделювання анізотропної в'язкопружної поведінки тонкостінних композиційних елементів машин.

Сучасні програмні комплекси скінченно-елементного аналізу надають інженеру можливість моделювання в'язкопружності, в якій ступінь анізотропії в'язкопружних властивостей повністю визначається ступенем анізотропії пружних властивостей, тобто коли компоненти в'язкопружного тензору релаксації є пропорційними компонентам пружного тензору жорсткості матеріалу. Таким чином для моделювання анізотропних в'язкопружних властивостей ПАКМ інженеру необхідно або писати власний скінченно-елементний код, або імплементувати власні модулі у програмні комплекси скінченно-елементного аналізу. Очевидно, що кожен з цих підходів потребує поглиблених знань математичного апарату механіки твердого деформованого тіла та програмування. Запропонований метод накладених сіток (МНС) [4] є методом моделювання анізотропних в'язкопружних властивостей тонкостінних композиційних елементів конструкцій і машин у програмних комплексах скінченно-елементного аналізу та скінченно-елементних кодах, що не потребує прямого завдання фізичних співвідношень анізотропної в'язкопружності і полягає у послідовному накладенні ідентичних скінченно-елементних сіток та подальшому зрощенні співпадаючих вузлів (рис. 1). При цьому кожен з скінченно-елементних шарів моделює механічні властивості лише в одному з можливих просторових напрямків.

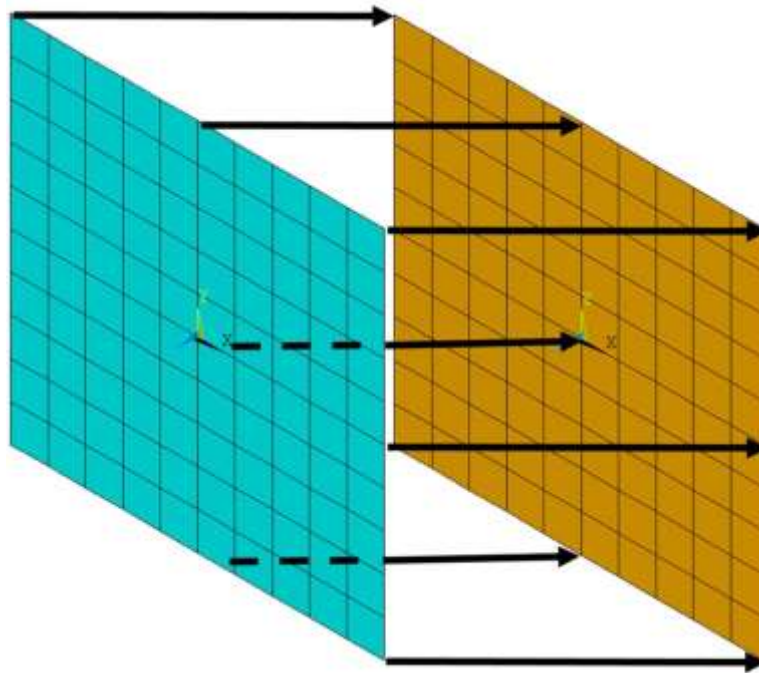


Рис. 1 – Процедура зрощення вузлів ідентичних накладених скінченно-елементних сіток у відповідності до МНС

Таке моделювання механічних властивостей досягається шляхом штучного занулення компонент тензора релаксації в'язкопружного матеріалу кожного із скінченно-елементних шарів із залишенням ненульової компоненти, що відповідає просторовому напрямку, у якому моделює властивості певний шар.

Проведена серія чисельних експериментів для одномірних, двомірних та оболонкових скінченно-елементних моделей демонструє, що відносна похибка запропонованого методу не перевищує 1% для оптимального розміру скінченного елемента, що є допустимою інженерною похибкою.

Таким чином запропонований метод накладених сіток є застосовним до використання у інженерній практиці скінченного аналізу анізотропної в'язкопружної поведінки тонкостінних композиційних елементів конструкцій та машин і з допустимою похибкою є еквівалентним прямому завданню фізичних співвідношень анізотропної в'язкопружності.

Список літератури:

1. Капитонов А. М. Физико-механические свойства композиционных материалов. / А. М. Капитонов, В. Е. Редькин – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 532 с.
2. Кравчук А. С. Механика полимерных и композиционных материалов: Экспериментальные и численные методы / А. С. Кравчук, В. П. Майборода, Ю. С. Уржумцев. – М.: Наука, 1985. – 304 с.
3. Martynenko V. G. Numerical prediction of temperature dependent anisotropic viscoelastic properties of fiber reinforced composite / V. G. Martynenko, G. I. Lvov // J. Reinf. Plast. Compos. – 2017. – P. 1-12. doi:10.1177/0731684417727064
4. Martynenko V. G. An original technique for modeling of anisotropic viscoelasticity of orthotropic materials in finite element codes applied to the mechanics of plates and shells / V. G. Martynenko // Mechanics and Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 21. – P. 389–413.