

УДК 539.312

Фасоляк А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> канд. фіз.-мат. наук, асист. ЗНТУ

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ДИНАМІКИ ТУНЕЛІВ ТА ТРУБОПРОВІДІВ НЕГЛИБОКОГО ЗАЛЯГАННЯ**

На сьогодні актуальною проблемою проектування та експлуатації підземних споруд є динамічний розрахунок тунелів та трубопроводів, які знаходяться під дією нестационарних навантажень. Математичне моделювання вищезазначених процесів приводить до нестационарних задач теорії пружності для пружного середовища, що містить циліндричну порожнину, яка підкріплена тонкою пружною оболонкою.

Математичне описання середовища таких механічних систем залежить від глибини залягання оболонки (тобто відстань від поверхні середовища до оболонки). Якщо ця відстань перевищує 10 радіусів оболонки, тоді вплив поверхні середовища є незначним і без суттєвої втрати точності, середовище можна моделювати необмеженим тривимірним простором. Для отримання розв'язку такої задачі використовуються тригонометричні ряди Фур'є (за кутовою координатою) інтегральні перетворення Фур'є та Лапласа (за осьюою змінною та змінною часу відповідно). Алгоритм розв'язку такої задачі наведено у роботі [1].

Більш цікавими є випадки саме неглибокого залягання оболонки, тобто глибина залягання не перевищує 10 радіусів оболонки. В цьому випадку виникає необхідність враховувати вплив поверхні середовища. Це призводить до виникнення принципових математичних труднощів, для подолання яких, використовується біполярна система координат (БСК). Застосування БСК дозволяє відобразити нескінченну область, яка геометрично моделює середовище із поверхнею у прямокутник скінченних розмірів. Але динамічні рівняння теорії пружності та рівняння руху оболонки у БСК містять коефіцієнти, які залежать від просторових змінних, що не дозволяє отримати аналітичний розв'язок задачі, тому використовується метод скінченних різниць (за просторовими змінних) та ітераційний процес за змінною часу. Розрахункову схему методу наведено зокрема в роботі [2].

Також можна застосовувати прямі чисельні методи, наприклад метод скінченних елементів (МСЕ) [3].

Порівняння отриманих результатів на основі застосування БСК та МСЕ показало їх узгодженість та зменшення відносної похибки при згущенні сітки. Це свідчить про адекватність побудованих моделей, а результати отримані даними методами можуть бути використані при проектуванні та експлуатації тунелів та трубопроводів неглибокого залягання, які знаходяться під дією нестационарних динамічних навантажень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожуєв А. В. Нестационарна невісесиметрична деформація циліндричної оболонки у пружному просторі під дією рухомих поверхневих навантажень / А. В. Пожуєв, А. В. Фасоляк // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – № 2. – 2015. – С. 108–114.

2. Fasoliak A. V. Application of the Bipolar Coordinate System to Modeling of the Cylindrical Shell Dynamic in Elastic Medium with Free Surface / A. V. Fasoliak, V. I. Pozhuev // International Journal of Mechanical Engineering and Information Technology. – Vol. 06. Issue 06. – 2018. – PP. 1820–1825.

3. Пожуєв В. І. Нестационарна деформація циліндричної оболонки у пружному півпросторі з вільною поверхнею / В. І. Пожуєв, А. В. Пожуєв, 147

А. В. Фасоляк // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – № 1. – 2016. – С. 119–126.