

УДК 539.3:534.1

## МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМУВАННЯ БАГАТОШАРОВОГО СКЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

**Сметанкіна Н.В., д.т.н., старший науковий співробітник**

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України*

*Запропоновано метод дослідження коливань багатошарового скління транспортних засобів при ударному навантаженні. Модель скління базується на уточненій теорії багатошарових пластин. Розрахункові результати добре узгоджуються з експериментальними даними.*

Багатошарове скління транспортних засобів є одним з основних конструктивних елементів, яке може піддаватися інтенсивним динамічним навантаженням. Воно повинно задовольняти вимоги щодо ударної міцності та надійності за умови збереження своїх експлуатаційних характеристик. Тому розрахунок та проектування елементів скління, що відповідають зазначеним вище вимогам безпеки, є актуальною проблемою.

У більшості випадків проектування багатошарових елементів конструкцій транспортних засобів, а саме наземного транспорту, здійснюється на основі експериментальних даних шляхом емпіричного підбору пакету шарів [1]. Теоретичне обґрунтування конструкторських рішень практично відсутнє. Це пояснюється складністю розв'язання задач нестационарної динаміки композитних конструкцій при нестационарних навантаженнях [2]. Основними методами дослідження динамічного відгуку конструкції є чисельні методи, які пов'язані з дискретизацією розглядуваної системи, наприклад, метод скінченних елементів [3]. Тому важливою задачею є розробка методів, які дозволяють подати розв'язок в аналітичному вигляді з урахуванням особливостей нестационарного деформування багатошарових конструкцій. Метою роботи є розробка методу розрахунку параметрів напружено-деформованого стану елементів багатошарового скління наземного транспорту при впливі ударного навантаження, який дозволяє подати розв'язок задачі в аналітичному вигляді.

Скління розглядається як багатошарова пластина з ізотропних шарів сталої товщини. Форма скління у плані описується рівнянням фігури Ламе. Ударне навантаження здійснюється за допомогою індентора з напівсферичною кінцевою частиною, який скидається на зовнішню поверхню першого шару пластини. Динамічна поведінка скління описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтиснення вздовж товщині та інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару. Рівняння руху скління під впливом ударного навантаження отримано з варіаційного принципу, доповнено рівнянням руху індентора та умовою сумісності переміщення індентора і скління.

Метод розв'язання задачі базується на методі занурення заданої складної області в область канонічної форми [4]. Вихідна пластина занурюється у допоміжну пластину, форма і граничні умови якої обираються таким чином, щоб

розв'язок задачі можна було одержати у аналітичній формі. Розв'язок має найбільш простий вигляд, якщо як допоміжну обрати прямокутну в плані шарнірно оперту пластину. Тоді розв'язок вихідної задачі можна записати у вигляді розвинень у тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють граничні умови шарнірного опирання.

Щоб забезпечити виконання вихідних граничних умов, до допоміжної пластини додаються додаткові компенсуючі навантаження. З умови задоволення вихідних граничних умов на межі вихідної пластини формується система інтегральних рівнянь, з якої визначаються компенсуючі навантаження. Функції переміщень та компенсуючих навантажень розвиваються в подвійні тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють граничні умови допоміжної пластини.

З метою підтвердження вірогідності чисельних результатів проведено їх порівняння з експериментальними даними, які отримано при ударному навантаженні п'ятишарового шарнірно опертого елемента скління при ударі сталевим індентором. Розрахункові й експериментальні дані добре узгоджуються між собою, що підтверджує вірогідність чисельних результатів. Максимальне значення напруження не перевищило допустимого значення, що дозволяє рекомендувати розглядуване скління для подальшого практичного впровадження.

Розроблений метод може бути використаний при проектуванні безпечного багатошарового скління сільськогосподарської техніки з урахуванням умов експлуатаційного та аварійного динамічного навантаження.

#### **Список використаних джерел:**

1. Sierikova O., Koloskov V., Degtyarev K., Strelnikova O. The deformable and strength characteristics of nanocomposites improving. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1038. P. 144–153.
2. Гонтаровський П. П., Сметанкіна Н. В., Гармаш Н. Г., Глядя А. А., Клименко Д. В., Сиренко В. Н. Дослідження напружено-деформованого стану паливного бака вафельної конструкції ракети-носія. *Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій*. Дніпро, 2019. Вип. 29. С. 91–102.
3. Misura S., Smetankina N., Misiura Ie. Optimal design of the cyclically symmetrical structure under static load. *Lecture Notes in Networks and Systems. Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering-2020*. Springer: Cham, 2021. Vol. 188. P. 256–266.
4. Malykhina A.I., Merkulov D.O., Postnyi O.V., Smetankina N.V. Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates. *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series “Mathematical modeling. Information technology. Automated control system”*. 2019. Vol. 41. P. 46–54.