

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАГАТОШАРОВОГО СКЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Сметанкіна Наталя Володимирівна, докт. техн. наук, професор, завідувач,
відділ вібраційних і термоміцнісних досліджень, Інститут енергетичних машин
і систем ім. А. М. Підгорного НАН України,
e-mail: nsmetankina@ukr.net, ORCID: [0000-0001-9528-3741](https://orcid.org/0000-0001-9528-3741)

Угрімов Сергій Вікторович, докт. техн. наук, старший науковий співробітник,
учений секретар, відділ вібраційних і термоміцнісних досліджень, Інститут
енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного НАН України,
e-mail: sugrimov@ipmach.kharkov.ua, ORCID: [0000-0002-0846-4067](https://orcid.org/0000-0002-0846-4067)

Розвиток транспортного машинобудування потребує удосконалення матеріалів, конструкцій і технологій виробництва скління для наземного транспорту та авіаційної техніки [1].

У більшості випадків проектування багатошарового скління транспортних засобів здійснюється на основі експериментальних даних шляхом емпіричного підбору пакету шарів. Теоретичне обґрунтування конструкторських рішень практично відсутнє, що пояснюється складністю розв'язання задач нестационарної динаміки багатошарових конструкцій при ударному навантаженні. Тому актуальною проблемою залишається розробка ефективних методів розрахунку безпечного багатошарового скління транспортних засобів при нестационарних силових навантаженнях.

Метою дослідження є розробка методу розрахунку параметрів напружено-деформованого стану елементів багатошарового скління транспортних засобів при впливі ударного навантаження, який дозволяє подати розв'язок задачі в аналітичному вигляді.

Скління розглядається як незамкнена багатошарова незамкнена циліндрична оболонка, яка складається з ізотропних шарів сталої товщини. Ударне навантаження здійснюється за допомогою індентора з напівсферичною кінцевою частиною, який скидається на зовнішню поверхню першого шару оболонки. Динамічна поведінка скління описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтиснення вздовж товщини та інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару [2]. З варіаційного принципу одержано рівняння руху оболонки під впливом ударного навантаження та систему граничних умов.

Метод розв'язання задачі базується на методі занурення заданої складної області в область канонічної форми [3]. Вихідна оболонка занурюється у допоміжну оболонку, 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 оболонку. Тоді розв'язок вихідної задачі можна записати у

вигляді розвинень у тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють граничні умови шарнірного опирання.

З метою підтвердження вірогідності чисельних результатів проведено порівняння розрахункових і експериментальних даних для п'ятишарового елемента скління при ударі сталевим індентором. Експериментальні дані одержані методом динамічної широкосмугової тензометрії [4]. Показано, що розрахункові й експериментальні дані добре узгоджуються між собою, що підтверджує вірогідність результатів розрахунку, які одержані за допомогою розробленого методу. Максимальне значення напруження не перевищило допустимого значення, що дозволяє рекомендувати розглядуване скління для подальшого практичного впровадження.

Висновки

На основі уточненої теорії розроблено аналітико-чисельний метод розрахунку на динамічну міцність багатошарового скління транспортних засобів при ударі твердим тілом. Розроблений метод може бути використаний при проектуванні безпечного багатошарового скління наземної техніки та літальних апаратів з урахуванням оцінки закономірностей пошкодження, тривалої міцності та характеру руйнування елементів скління за умов експлуатаційного та аварійного динамічного навантаження.

Література

1. Hu W., Wang Y., Yu J., Yen C., Bobaru F. Impact damage on a thin glass plate with a thin polycarbonate backing. *International Journal Impact Engineering*, 2013, vol. 62, pp.152-165.
2. Smetankina N., Semenets O., Merkulova A., Merkulov D., Misura S. Two-stage optimization of laminated composite elements with minimal mass. In: *Smart Technologies in Urban Engineering. STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2023, vol. 536. Springer, Cham. pp. 456-465.
3. Smetankina N., Ugrimov S., Kravchenko I., Ivchenko D. Simulating the process of a bird striking a rigid target. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2020, pp. 711-721.
4. Ugrimov S., Smetankina N., Kravchenko O., Yareshchenko V., Kruszka L. A study of the dynamic response of materials and multilayer structures to shock loads. In: *Advances in Mechanical and Power Engineering. CAMPE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2023, pp. 304-313.