

УДК 539.3:534.1

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ БАГАТОШАРОВОГО СКЛА У БУДІВНИЦТВІ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Меркулова Альона Ігоревна

аспірантка

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

hm2021@ukr.net

Багатошарове скло відноситься до безпечного скла та широко використовується у будівництві, транспортному машинобудуванні, авіабудуванні завдяки своїм унікальним властивостям [1, 2]. Оскільки скло часто виконує захисні функції, тому піддається інтенсивним динамічним навантаженням. Саме тому скло 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 будівельних споруд здійснюється на основі експериментальних даних шляхом емпіричного підбору пакету шарів. Теоретичне обґрунтування конструкторських рішень практично відсутнє. Це пояснюється складністю розв'язання задач нестационарної динаміки композитних конструкцій при швидкоплинних навантаженнях [3]. Основними методами дослідження динамічного відгуку конструкцій є чисельні методи, які пов'язані з дискретизацією розглядуваної системи, наприклад, метод скінченних елементів [4]. Метою роботи є розробка методу розрахунку параметрів напружено-деформованого стану елементів багатошарового скління зі складною формою для будівельних споруд під час ударного навантаження, який дозволяє подати розв'язок задачі в аналітичному вигляді.

Елемент скління розглядається як багатошарова пластина з ізотропних шарів сталої товщини. Форма скла 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 уточненої теорії багатошарових конструкцій [5].

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 [6]. Вихідна пластина занурюється у допоміжну пластину, форма і граничні умови якої обираються таким чином, щоб розв'язок задачі можна було одержати у аналітичній формі. Щоб забезпечити виконання вихідних граничних умов, до допоміжної пластини додаються додаткові компенсуючі навантаження. З умови задоволення вихідних граничних умов формується система інтегральних рівнянь для визначення компенсуючих навантажень. Розв'язок задачі одержуємо у вигляді розвинення у подвійні тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють граничні умови допоміжної пластини.

Досліджено коливання п'ятишарового шарнірно опертого елемента скління при ударі сталевим індентором. Порівняння чисельних результатів з експериментальними даними показало їх добру узгодженість.

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

Список використаних джерел

1. Smetankina N., Malykhina A., Merkulov D. Simulating of bird strike on aircraft laminated glazing. MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 304. P. 01010-01016.
2. 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.
3. Smetankina N. V., Postnyi O. V., Merkulova A. I., Merkulov D. O. Modeling of non-stationary temperature fields in multilayer shells with film heat sources. In: 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 2020. P. 242–246.
4. 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.
5. Smetankina N., Semenets O., Merkulova A., Merkulov D., Misura S. Two-stage optimization of laminated composite elements with minimal mass. Smart Technologies in Urban Engineering. STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2023. Vol. 536. P. 456–465.
6. 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.