

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ СКЛІННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

А.І. Меркулова¹, Н.В. Сметанкіна²

¹ аспірант відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків, Україна

*² завідувач відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень, д-р. техн. наук, проф., Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків, Україна
hm2021@ukr.net*

Однією з актуальних задач у сучасній техніці є задача достовірного визначення термонапруженого стану елементів конструкцій. Від її успішного розв'язання залежить надійність і ефективність роботи елементів різних конструкцій, які часто мають неоднорідну структуру [1]. Це стосується скління наземного транспорту та авіаційної техніки. Велике значення для забезпечення нормального польоту в складних метеорологічних умовах, особливо при посадці літака, має надійний і високоефективний захист від зледеніння скління кабіни пілотів [2]. Обігрів скління захищає від зледеніння лобові стекла кабіни й запобігає їх запотіванню.

За рахунок багат шаровості можливо забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики конструкції при її найменшій вазі та вартості, але у більшості випадків проектування скління літака здійснюється на основі експериментальних даних шляхом емпіричного підбору шарів [3]. Теоретичне обґрунтування конструкторських рішень практично відсутнє. Це пояснюється складністю розв'язання задач теплопровідності та термопружності багат шарових конструкцій [4]. Якщо багат шаровий елемент конструкції має неканонічну форму в плані, то для розрахунку в більшості робіт застосовуються чисельні методи [5]. Використання в цьому випадку аналітичних методів пов'язане з подоланням математичних труднощів, які викликані описом геометричних параметрів багат шарових тіл складної конфігурації, умов сполучення шарів з урахуванням внутрішніх джерел тепла, наявності шарів що істотно розрізняються теплофізичними властивостями. Таким чином, дослідження поведінки багат шарового скління під дією температурних навантажень залишається актуальною задачею.

Метою роботи є розробка методу розрахунку параметрів термонапруженого стану елементів багат шарового скління літаків при впливі електрообігріву в екстремальних умовах експлуатації. Метод застосовується для встановлення причин розтріскування електрообігрівного скла літаків типу Ан та розробки рекомендацій по підбору максимально можливої питомої потужності електрообігрівних елементів для цих виробів.

Сучасне обігрівне скло літака є складною великогабаритною багат шаровою конструкцією, яка складається із шарів силікатного скла, які з'єднуються між собою шарами із прозорого полімеру. Її працездатність залежить в першу чергу від міцності і довговічності скляних елементів, оптимальних параметрів шарів та конструкційних рішень, які б забезпечували необхідну термостійкість і міцність покрівельного шару при циклічному навантаженні та дії екстремальних експлуатаційних факторів. Багат шарове скло розглядається як багат шарова незамкнена оболонка з неканонічною формою у плані, яка зібрана з шарів постійної товщини. На зовнішніх поверхнях відбувається конвективний теплообмін. Між першим і другим шарами скління знаходиться плівкове джерело тепла. Деформації шарів оболонки описуються у

рамках теорії першого порядку, що враховує деформації поперечного зсуву й обтиснення по товщині у кожному шарі. Рівняння термопружної рівноваги та граничні умови одержані з принципу можливих переміщень. Температурні поля отримано в результаті розв'язання задачі теплопровідності. Систему рівнянь теплопровідності та граничні умови для багат шарової оболонки виведено з варіаційного рівняння теплового балансу [6]. Метод розв'язання системи полягає у тому, що температура в шарах, на бічній поверхні, а також питомі потужності внутрішніх джерел тепла подаються у вигляді розвинення в ряд по поліномах Лежандра.

У роботі пропонується аналітичний підхід до розв'язання задачі термопружності. Вихідна багат шарова оболонка довільної форми в плані занурюється в допоміжну охоплюючу багат шарову оболонку з тією же композицією шарів. Форма цієї оболонки та граничні умови обираються таким чином, щоб можливо було одержати простий аналітичний розв'язок. Щоб забезпечити виконання реальних граничних умов, до допоміжної оболонки вздовж границі вихідної оболонки додаються додаткові компенсуючі джерела, потужність яких визначається з системи інтегральних рівнянь. Метод розв'язання цієї системи полягає в тому, що функції переміщень і навантажень розвиваються в тригонометричні ряди по функціях, що задовольняють умови опирання допоміжної оболонки.

Аналіз інформації про стекла, що вийшли з ладу під час експлуатації, показав, що в більшості випадків руйнування починалося посередині сторін або у кутах поверхні, що обігрівається. Для встановлення причин розтріскування покривних стекол була проведена серія повірочних розрахунків стекол ТСК 008У на міцність з урахуванням теплових навантажень, пов'язаних з налаштуванням температури відключення живлення нагрівальних елементів та їх підвищеною питомою потужністю. Встановлено, що стекла мають завищену питому потужність джерела тепла, що призводить до швидкого змінення температури в шарах, і на певних режимах польоту викликає температурні напруження, які є близькими до допустимих. Як показав розрахунок, підвищені температурні напруження локалізуються у кутах та посередині джерела електрообігріву, що збігається з експериментальними даними.

Запропонований підхід дозволяє скоротити витрати і час на передпроектні дослідження термопружного стану багат шарових конструкцій.

Список літератури:

1. *Sit, M. Thermal stress analysis of laminated composite plates using third order shear deformation theory / M. Sit, C. Ray, D. Biswas // Advances in Structural Engineering. – 2015. – Vol. 1. – P. 149–156.*
2. *Smetankina N. Simulating of bird strike on aircraft laminated glazing/ N. Smetankina, A. Malykhina, D. Merkulov // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 304. – P. 01010-01016.*
3. *Smetankina N. Nonstationary heat conduction in multilayer glazing subjected to distributed sources / N. Smetankina, O. Postnyi // Informatyka, Automatyka, Pomiarы w Gospodarce i Ochronie Środowiska. – 2020. – Vol. 10, No 2. – P. 28–31.*
4. *Smetankina N. V. Modeling of non-stationary temperature fields in multilayer shells with film heat sources / N. V. Smetankina, O. V. Postnyi, A. I. Merkulova, D. O. Merkulov // 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). – 2020. – P. 242–246.*
5. *Гонтаровський П. П. Дослідження напружено-деформованого стану паливного бака вафельної конструкції ракети-носія / П. П. Гонтаровський, Н. В. Сметанкіна, Н. Г. Гармаш, А. А. Глядя, Д. В. Клименко, В. Н. Суренко // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2019. – Вип. 29. – С. 91–102.*
6. *Malykhina A. I. Stationary problem of heat conductivity for complex-shape multilayer plates / A. I. Malykhina, D. O. Merkulov, O. V. Postnyi, N. V. Smetankina // Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Mathematical modeling. Information technology. Automated control system". 2019. Vol. 41. P. 46–54.*