

Яковлева С.І.¹, *наук. кер. Лавренко Я.І.², к.т.н., доц.*

¹Спільний українсько-німецький факультет машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» і університету ім. Отто-фон-Геріке м.

Магдебурга, м. Київ, e-mail: sonyaigr@gmail.com

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: lavrenko.iaroslav@gmail.com

РОЗРАХУНОК ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ НАЯВНОСТІ ВЕЛИКИХ ЗСУВІВ СЕРЕДНЬОГО ШАРУ

Сонячні батареї зазвичай підлягають значним навантаженням внаслідок зміни погодних умов. Це можуть бути як навантаження внаслідок вітру чи опадів, так і циклічні денні чи сезонні зміни температури. Це може призводити до порушення герметичності між шарами, утворенню тріщин в крихких матеріалах і, як наслідок, до зниження ефективності. Тому чисельне моделювання та дослідження поведінки окремих шарів, як і всієї пластини, є необхідним та дуже актуальним питанням сьогодення [1, 2].

Типова структура сонячних батарей складається з зовнішніх шарів зі скла та внутрішніх – м'яких полімерних шарів, які виконують захисну функцію для дуже тонких та крихких кремнієвих сонячних панелей (рис. 1) [3, 4, 5].

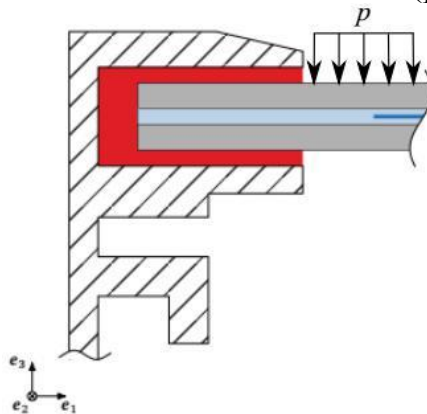


Рис. 1. Закріплення сонячної батареї [3]

Чисельне моделювання було проведено за допомогою програмного пакету ABAQUS в інституті механіки Отто-фон-Геріке Університету Магдебурга (Німеччина). На рис. 1 зображено типову структуру сонячної батареї, яка по периметру вбудована в алюмінієвий профіль, всередині якого знаходиться м'який прошарок. В даній задачі припускається, що всі шари композиту можуть довільно повертатись та переміщуватись в площині. Тому в якості граничних умов взято лише нульові переміщення в напрямку товщини на всіх чотирьох гранях в кожному з шарів.

Для дослідження збіжності результатів було побудовано п'ять скінченно-елементних сіток з різною кількістю елементів та проведено порівняння

значень максимального прогину пластини для кожної сітки за різних температур. Результати наведені на рис. 2-4.

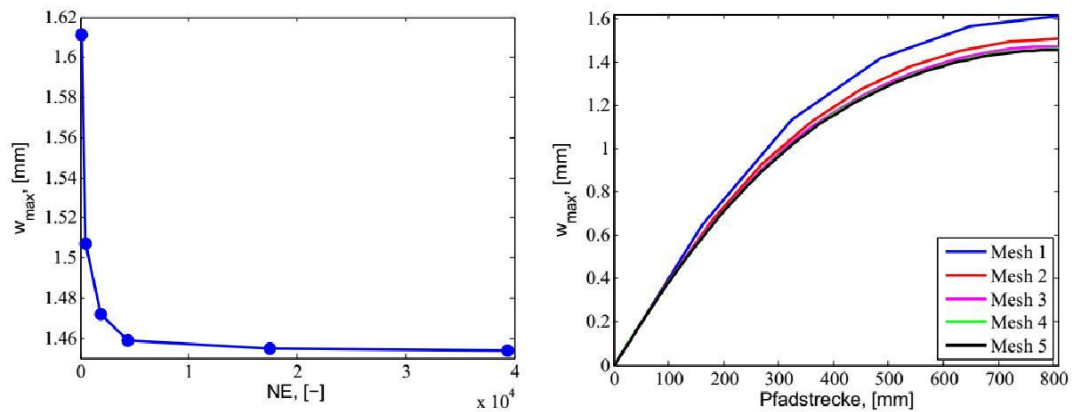


Рис. 2. Збіжність прогинів пластини, $T = +23\text{ }^{\circ}\text{C}$

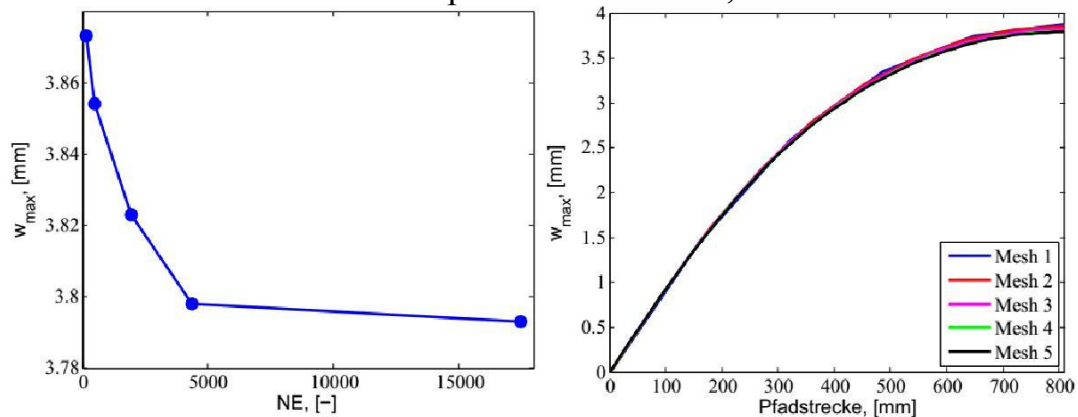


Рис. 3. Збіжність прогинів пластини, $T = +80\text{ }^{\circ}\text{C}$

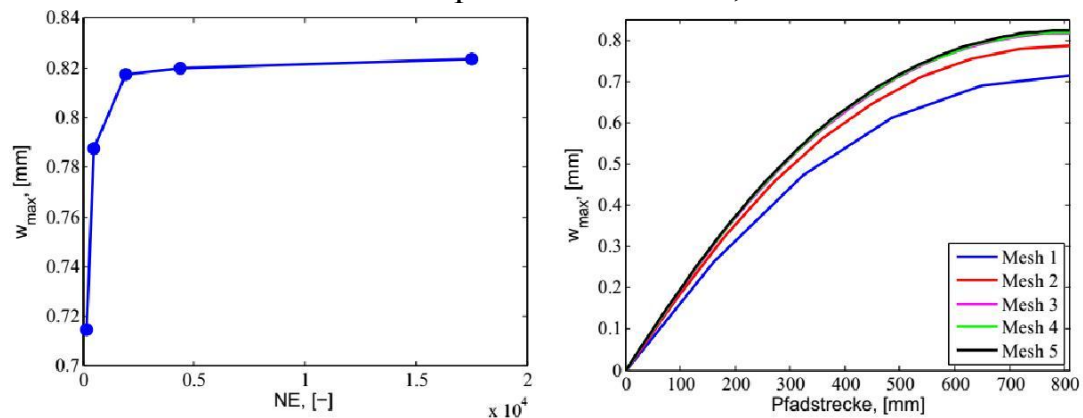


Рис. 4. Збіжність прогинів пластини, $T = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Числові результати залежності максимального прогину пластини від кількості елементів наведені в таблиці 1.

Таблица 1. Основні результати розрахунків

№	NE	w_{max} ($T=+23^{\circ}\text{C}$)	w_{max} ($T=+80^{\circ}\text{C}$)	w_{max} ($T=-40^{\circ}\text{C}$)
1	150	1,611	3,873	0,7149
2	486	1,507	3,854	0,7874
3	1944	1,472	3,823	0,8176
4	4374	1,459	3,798	0,8201
5	17496	1,455	3,793	0,8238

Як видно з рис. 2, рис. 3 та з табл. 1, максимальний прогин зменшується зі збільшенням кількості елементів. З фізичної точки зору така залежність не відповідає реальності, оскільки при більшій кількості елементів пластина мала б стати менш жорсткою. Відповідно, прогин мав би збільшуватись.

На противагу цьому при температурі -40°C збіжність показує фізично коректні результати, тобто зі згущенням сітки прогин зростає.

Список використаних джерел:

1. K. Naumenko und V. A. Eremeyev, „A layer-wise theory for laminated glass and photovoltaic panels“, Compos. Struct., Bd. 112, Nr. 1, S. 283–291, 2014.
2. S.-H. Schulze, M. Pander, K. Naumenko, und H. Altenbach, „Analysis of laminated glass beams for photovoltaic applications“, Int. J. Solids Struct., Bd. 49, Nr. 15–16, S. 2027–2036, 2012.
3. M. Aßmus, K. Naumenko, und H. Altenbach, „A multiscale projection approach for the coupled global-local structural analysis of photovoltaic modules“, Compos. Struct., Bd. 158, S. 340–358, 2016.
4. J. Eisenträger, K. Naumenko, H. Altenbach, und H. Köppe, „Application of the first-order shear deformation theory to the analysis of laminated glasses and photovoltaic panels“, Int. J. Mech. Sci., Bd. 96–97, S. 163–171, 2015.
5. J. Eisenträger, K. Naumenko, H. Altenbach, und J. Meenen, „A user-defined finite element for laminated glass panels and photovoltaic modules based on a layer-wise theory“, Compos. Struct., Bd. 133, Nr. December, S. 265–277, 2015.