

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ ПРИ ТЕПЛОВОМ И МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕЕ

К.С.Курочка, Е.В.Комракова

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О.Сухого, Беларусь*

Конструктивные элементы типа сэндвич-панелей, состоящие из прочных и жестких внешних слоев, низкопрочного и легкого внутреннего слоя широко используются в различных отраслях техники, так как для них характерны высокая прочность и жесткость, небольшая средняя плотность, хорошая способностью поглощать энергию при ударных воздействиях. Кроме того, трехслойные конструктивные элементы обеспечивают хорошие звуко- и теплоизолирующие свойства, а также обладают высокой технологичностью и вибростойкостью.

В ряде случаев составные части этих конструктивных элементов подвергаются стационарному равномерному тепловому воздействию, при котором изменяются физико-механические свойства материалов слоев и возникают градиенты температуры, сопровождающиеся неодинаковым тепловым изменением размеров частей элементов. Данное явление в общем случае вызывает тепловые напряжения. Знание величины и характера действия тепловых напряжений необходимо для всестороннего анализа прочности конструкции. При этом необходимо учитывать, что тепловые напряжения в конструктивных элементах, особенно в сочетании с механическими напряжениями от внешних сил, могут привести к полному разрушению композитных тонкостенных конструкций и термовспучиванию. Кроме того, сэндвич-панели обладают следующими специфическими особенностями – резко выраженной анизотропией их механических характеристик, ослабленным сопротивлением поперечным деформациям, существенным различием механических и теплофизических характеристик слоев. Эти факторы имеют принципиальное значение, как отмечается в [1], при расчете полей перемещений и температур.

Для проведения расчетов использовалась связанная система дифференциальных уравнений, состоящей из уравнения Ламе для перемещений  $u$  :

$$\mu \Delta u + (\lambda + \mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} u - \alpha_T (3\lambda + 2\mu) \operatorname{grad} \theta, \quad (1)$$

и уравнения теплопроводности для приращения температуры  $\theta$  :

$$c \frac{\partial \theta}{\partial t} + \alpha_T (3\lambda + 2\mu) \frac{\partial \operatorname{div} u}{\partial t} - \operatorname{div}(k \operatorname{grad} \theta) = f. \quad (2)$$

Здесь  $\lambda, \mu$  – постоянные Ламе,  $k$  – коэффициент теплопроводности,  $c$  – удельная объемная теплоемкость при отсутствии деформации,  $\alpha_T$  – температурный коэффициент линейного расширения.

Уравнения (1) и (2) дополняются начальными и граничными условиями. Расчет проводился на основе метода конечных элементов [2, 3]. Прикладная программа для определения полей перемещений и приращения температуры с учетом теплофизических свойств материалов [4] слоев сэндвич-панели реализована на языке высокого уровня С#.

Объектом численного исследования являлась сэндвич-панель (рисунок 1) нагружаемая распределенными по верхнему слою механическими и тепловыми воздействиями (при этом предполагалось, что в нулевой момент времени как перемещения  $u$ , так и приращение температуры  $\theta$  были равны нулю). Для упрощения расчета, ввиду симметричности рассматриваемой панели, расчет производился для 1/4 части панели. На отсекаемых частях расчетной модели были заданы условия зеркальной симметрии.

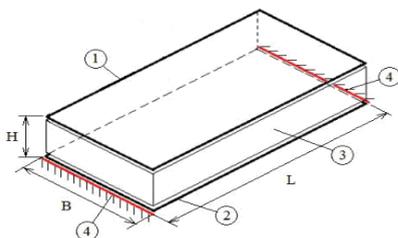


Рисунок 1 – Схема нагружения сэндвич-панели: 1 - верхний металлический слой; 2 - нижний металлический слой; 3 - внутренний слой; 4 - места закрепления

При расчетах предполагалась, что ширина панели  $B=6$  дм, а длина панели  $L$  могла быть либо 6 либо 12 дм. Материал верхнего и нижнего слоя сэндвич-панели – отожженные листы АМГ6 (химический состав по ГОСТ 4784-97) толщиной 2 мм, материал внутреннего слоя – пеноплекс (экструдированный вспененный полистирол) ТУ 5767-006-56925804-2007 толщиной либо 60, либо 100 мм. К верхнему слою панели прикладывалась комплексная нагрузка в виде равномерно распределённого давления 100 кПа (или 200 кПа) и теплового воздействия. Тепловое воздействие моделировалось путем контакта верхнего слоя сэндвич-панели с поверхностью имеющую температуру на  $60^\circ$  больше первоначальной температуры. Расчеты проводились как с учетом физической зависимости свойств материалов слоев сэндвич-панели от температуры и механического напряжения, так и без этого учета.

В результате проведенных численных исследований получены распределение температуры и перемещения для разных точек сэндвич-панели в различные моменты времени. Показано, что учет нелинейных свойств материалов приводит в ряде случаев к заметным отличиям, особенно при распределении перемещений, по сравнению с результатами полученными без учета этих свойств. Из полученных результатов также следует, что при увеличении толщины внутреннего теплоизолирующего слоя, процесс распространения тепла, вдоль нормали к слоям сэндвич-панели, резко замедляется, что свидетельствует о правильности, с физической точки зрения, проведенных расчетов.

### **Литература**

- 1 Коваленко А.Д. Термоупругость. – Киев: Вища школа, 1975 – 216 с..
- 2 Сегерлинд Л. Дж. Применение метода конечных элементов. – М: Мир, 1979 – 392 с.
- 3 Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. – М: Мир, 1981 – 304 с.
- 4 Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов –. М.: Физматгиз, 1959 – 356 с.

УДК 004.51:612.881

### **МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ ЗМІНИ ВИГЛЯДУ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОБІЛЬНОСТІ ЛЮДЕЙ ІЗ ВАДАМИ ЗОРУ**

О.Г. Жданова, М.О. Сперкач, Р.І. Кальницький

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна*

Згідно інформації Всесвітньої організації охорони здоров'я спостерігається тенденція зростання кількості людей із вадами зору. Для даної категорії людей питання мобільності є одним із ключових. Існуючі методи допомоги в пересуванні не надають можливості повноцінного безпечного пересування та орієнтації в просторі.

Більшість існуючих методів, що базуються на використанні інформаційних технологій, аналізують графічне зображення та за певним алгоритмом передають його користувачеві у вигляді тактильних відчуттів [1, 2] або аудіо сигналів [3]. Підхід, що включає повну передачу зображення, є непрактичним у використанні з огляду існуючих тактильних та звукових дисплеїв. Це пояснюється значно більшою роздільною здатністю ока в сприйнятті двовимірних зображень у порівнянні із сенсорами тиску та болю шкіри чи внутрішнім вухом.