УДК 539.37

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЭНДВИЧ-ПАНЕЛИ ИЗ ОРТОТРОПНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ БОЛЬШИХ ПРОГИБОВ

К.С.Курочка, Е.В.Комракова

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

Сэндвич-панели состоящие из прочных и жестких внешних слоев, низкопрочного и легкого внутреннего слоя все чаще заменяют другие типы конструктивных элементов, так как для них характерны высокая прочность и жесткость. Их популярность обусловлена небольшим весом и легкостью монтажа. Кроме того, трехслойные конструктивные элементы обеспечивают хорошие тепло- и звукоизолирующие свойства, а также обладают высокой вибростойкостью и технологичностью.

В ряде случаев составные части этих конструктивных элементов подвергаются значительным внешним нагрузкам, которые приводят к большим прогибам сэндвич-панелей. 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.

Рассматриваемая физическая модель описывается следующим квазигармоническим уравнением[2]:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(u_x\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(u_y\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(u_z\frac{\partial\phi}{\partial z}\right)+\left(F-\mu\frac{\partial\phi}{\partial t}-\rho\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2}\right) \qquad (1)$$

где ϕ – неизвестная однозначная в рассматриваемой области функция, F – функция, задающая внешнюю нагрузку u_x, u_y, u_z – функции перемещения относительно координат, μ – коэффициент внутреннего трения, ρ – плотность материала.

Уравнение (1) в окончательной форме определяющих уравнений можно записать в матричном виде:

$$[K]\{\delta\}+[C]\frac{\partial\{\delta\}}{\partial t}+[M]\frac{\partial^2}{\partial t^2}\{\delta\}+\{F\}=0\,, \qquad (2)$$

где $[C]$ – матрица демпфирования, $[M]$ – матрица масс, $\{\delta\}$ – вектор узловых перемещений, $\{F\}$ – вектор нагрузки.

Предполагалось, что толщина наружных слоев одинакова и равна t и намного меньше общей толщины пластины H, тогда деформации верхнего и нижнего слоя при больших прогибах будут равны

$$\varepsilon_x^{в(н)} = \frac{\partial u^{в(н)}}{\partial x} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2; \ \varepsilon_y^{в(н)} = \frac{\partial v^{в(н)}}{\partial y} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2;$$

$$\gamma_{xy}^{в(н)} = \frac{\partial u^{в(н)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{в(н)}}{\partial x} \tag{3}$$

где $u^в$, $v^в$ – перемещение точек верхнего слоя, $u^н$, $v^н$ – перемещение точек нижнего слоя.

Для вычислений прогибов сэндвич-панели использовался алгоритм, основанный на методике последовательных нагружений на основе двухшагового метода последовательных возмущений параметров[3]:

– при малых прогибах используется метод упругих решений Ильюшина (где производится учет лишь физической нелинейности);

– при больших прогибах используется методика возмущений параметров с учетом как физической нелинейности, так и геометрической нелинейности. Под большими прогибами понимались прогибы сравнимые по величине с толщиной сэндвич-панели.

Объектом численного исследования являлась трехслойная сэндвич-панель (рисунок 1) нагружаемая распределенными по верхнему слою механическими воздействиями.

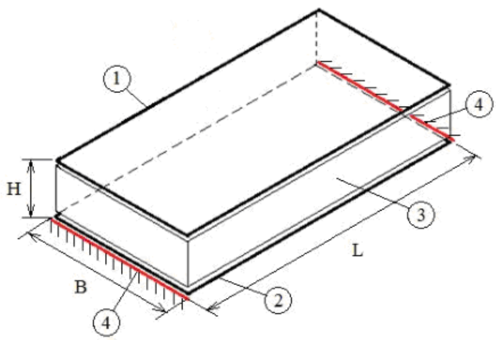

Рисунок 1 – Схема нагружения сэндвич-панели: 1 - верхний металлический слой; 2 - нижний металлический слой; 3 - внутренний слой; 4 - места закрепления

Для упрощения расчета, ввиду симметричности рассматриваемой панели, расчет производился для 1/4 части панели. На отсекаемых частях расчетной модели были заданы условия зеркальной симметрии.

При разработке вычислительного алгоритма принимались справедливыми следующие предположения[4]:

– нормальное, к срединной плоскости, перемещение u (т.е. прогиб пластины) не зависит от координаты z;

– нормаль к срединной плоскости после деформации поворачивается на угол φ1 относительно оси x, и на угол φ2 относительно оси y;

– при расчете характеристик напряженного состояния не учитываем наличие нормальных напряжений σz.

Расчет проводился на основе метода конечных элементов [1]. Прикладная программа для определения напряженно-деформированного состояния сэндвич-панелей при больших приложенных нагрузках реализована на языке высокого уровня C#.

При проведении расчетов предполагалась, что ширина панели B = 8 дм, а длина панели L могла быть либо 8 либо 16 дм. Материал верхнего и нижнего слоя сэндвич-панели – отожженные листы АМГ6 (химический состав по ГОСТ 4784-97) толщиной 2 мм, материал внутреннего слоя – стеклопластик Т-10/УПЭ22-27 (изготавливается из ткани Т-10 и связующего УПЭ 22-27 толщиной либо 60, либо 100 мм. Стеклопластик представлял собой ортотропный материал. К верхнему слою панели прикладывалась нагрузка в виде равномерно распределённого давления 400 кПа (или 600 кПа)

В результате проведенных численных исследований получены характеристики напряженно-деформированного состояния, а именно распределение деформаций и механических напряжений для разных точек сэндвич-панели.

Проводились расчеты как с учетом ортотропности свойств стеклопластика – модель 1, так без учета этих свойств (т.е. при усредненных модулях упругости и коэффициента Пуассона) – модель 2.

Анализируя данные по деформациям можно сделать вывод о достаточно существенном влиянии явления разносопротивляемости на величины прогибов сэндвич-панели. В частности, разница в результатах по максимальным прогибам для моделей 1 и 2 составляет величину – 11 %. Если же мы будем анализировать получаемые данные по напряжениям, то можно сделать вывод о том, что разница между напряжениями, полученными при учете и без учета явления разносопротивляемости, весьма ощутима. Так, разница получаемых данных для моделей 1 и 2 по максимальным напряжениям составляет – 22 %.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что учет влияния напряженно-деформированного состояния на работу материала является необходимым, так как позволяет получить более точные результаты.

Литература:

1 Сегерлинд Л. Дж. Применение метода конечных элементов. – М: Мир, 1979 – 392 с.

2. Зенкевич, О.С. Метод конечных элементов в технике / О.С. Зенкевич – учебник: МОСКВА, «МИР», 1975 – 541 с.

3. Петров В.В., Кривошеин И.В. Методы расчета конструкций из нелинейно-деформируемого материала: учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ, 2009 – 208 с.

4. Трещев А.А., Матченко Н.М. Теория деформирования разносопротивляющихся материалов. Тонкие пластины и оболочки. М.; Тула: РААСН; ТулГУ, 2005 – 186 с.