

радиуса при осевом сжатии. Показано, что потеря устойчивости такой конструкции происходит при усилии, большем критического усилия отдельно взятой внешней оболочки и меньшем - внутренней. Начиная с некоторого значения трансверсальной жесткости заполнителя, критическая нагрузка на оболочку не растет, несмотря на рост жесткости. Чувствительность к несовершенствам также стабилизируются, но менее резко, чем критические нагрузки

## **STABILITY AND INITIAL POST-BUCKLING BEHAVIOR OF SANDWICH CYLINDRICAL SHELLS WITH A SPRING CORE**

*A solution of the problem of stability and initial post-buckling behavior of sandwich shells with a spring core that has elasticity only in the transverse direction is obtained. The resolving system of nonlinear equations is derived taking into account the discreteness of the structure, which allows independently deforming the inner and outer layers. To solve this system the Koiter-Budiansky asymptotic method is used.*

УДК 624.3

## **РАСЧЕТ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН ЧИСЛЕННО- АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Гапшенко В.С., к.т.н., доц., Сергиенко В.Г., магистр**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса,

Широкое распространение материалов, обладающих анизотропными свойствами, породило масштабные исследования в области механики анизотропных конструкций и, в первую очередь, пластин. В силу определенных проблем математического характера получить аналитическое решение дифференциального уравнения изгиба ортотропной пластины удастся не всегда. Существенную роль в этом играют условия закрепления краев пластины и локальные нагрузки. Широко применяются численные методы анализа, но здесь, как известно, нет универсального подхода.

На этом фоне является эффективным использование численно-аналитического метода граничных элементов (ЧА МГЭ) [1 – 2]. Этот метод позволил получить фундаментальную систему решений дифференциального уравнения изгиба изотропных пластин без каких-либо ограничений на характер нагрузки и условия закрепления, поэтому распространение метода на расчет ортотропных пластин представляется **актуальной** задачей.

Дифференциальное уравнение изгиба ортотропной пластины (уравнение Жермен-Лагранжа) имеет вид [3]

$$D_1 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_2 \frac{\partial^4 W(x, y)}{\partial y^4} = q(x, y). \quad (1)$$

Применение ЧА МГЭ позволяет в рамках единого подхода получить решение уравнения (1) при любых граничных условиях и без каких-либо ограничений на характер приложения внешней нагрузки.

Основное уравнение задачи (1) имеет четвертый порядок и является дифференциальным уравнением в частных производных. Функция, являющаяся решением этого уравнения, зависит от двух переменных, т.е. имеет место двумерная задача. В то же время алгоритм ЧА МГЭ предполагает решение одномерной задачи, пластина должна рассматриваться как обобщенный одномерный модуль. Это достигается применением вариационного метода Канторовича-Власова.

В работе исследована плита класса OSB/3, имеющая (по EN 300) следующие механические характеристики: продольный предел прочности на изгиб — 29 МПа; поперечный предел прочности на изгиб — 12,4 МПа; продольный модуль упругости — 5500 МПа; поперечный модуль упругости — 1500 МПа; продольный модуль сдвига — 2750 МПа; поперечный модуль сдвига — 750 МПа.

Плита размерами 500x500x8 мм шарнирно опирается по всему контуру. Нагрузка равномерно распределена по всей поверхности.

Составлена программа расчета для пакета SKILAB. Эта же задача решена в программе ANSYS [4]. Полученные значения напряжений и прогибов. Расхождение результатов расчетов, полученных численно-аналитическим методом граничных элементов и методом конечных элементов, при свободном опирании пластины по всему контуру не превышает 1,33 %.

### Литература

1. Дашенко А.Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов / А.Ф. Дашенко, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов — Одесса: ВМВ, 2010. — В 2-х томах. — Т.1. — 416 с. — Т.2. — 512 с.

2. Оробей В.Ф. Основные положения численно-аналитического варианта МГЭ / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов — Труды Санкт-Петербургского политехнического университета. / Инженерно-строительный журнал. — № 4 (22). — СПб, 2011. — С. 33-39.

3. Сурьянинов Н.Г. Приложение численно-аналитического метода граничных элементов к расчету ортотропных пластин / Н.Г. Сурьянинов, И.В. Павленко // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. — Одеса, 2014. — Вип. 1(43). — С. 18-27.

4. Дашенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов / Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. Н. Г. Сурьянинова. — Одесса. — Пальмира, 2011. — 505 с.