

Таким образом, разработанный прямой явный одношаговый метод пятого порядка точности на основе степенных рядов Тейлора для численного решения дифференциальных уравнений движения нелинейно деформируемых систем высокой размерности отличается простым и устойчивым алгоритмом, не требующим формирования и обработки глобальных матриц мгновенной жесткости. Как частный случай из него следует неявный, но линейный относительно производных метод третьего порядка точности для численного решения нелинейных задач квазистатического деформирования, отличающийся повышенной скоростью алгоритма и возможностью исследования устойчивости текущих мгновенных состояний равновесия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Stricklin J. A., Haisler W. E., Reisman W. A. Geometrically Non-linear Analysis by the Direct Stiffness Method // J. Struct. Div.: Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. - 1971. - V. 97, N 9. - P. 2299 - 2314.
2. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. - М.: Стройиздат, 1979. - 320 с.
3. Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. - М.: Высш. шк., 1986. - 607 с.
4. Сидорович Е. М. Новые проблемы динамики и устойчивости сооружений // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь: Сб. ст. / Под ред. Т. М. Пецольда. - Минск: Редакция журнала "Тыдзень", 2000. - С. 266 - 273.
5. Сидорович Е. М. Нелинейное деформирование, статическая и динамическая устойчивость пространственных стержневых систем. - Мн.: БГПА, 1999. - 200 с.

УДК 624.074.04

Трач В.М., Гупалюк В.Н.

### УСТОЙЧИВОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ СОСТАВНЫХ ОБОЛОЧЕК

Необходимость получения экономичных конструкций при обеспечении необходимой прочности, жесткости и устойчивости обусловила практическое использование составных оболочек вращения в технике. Уменьшение веса таких конструктивных систем приводит к необходимости определения действующих на них предельных нагрузок, которое связано, например, с расчетами на устойчивость. Использование материалов с существенной анизотропией свойств и низкой сдвиговой жесткостью требует использования при расчетах конструкций, изготовленных из композитных материалов, уточненных подходов, которые основаны на развитии прикладных теорий.

Авторами на основании прикладной конечно-сдвиговой теории, которая основана на совместном использовании кинематических и статических гипотез о распределении перемещений и сдвигающих напряжений по толщине многослойного пакета, получены дифференциальные уравнения устойчивости в смешанной форме. При использовании метода Ньютона и численного метода дискретной ортогонализации разработан алгоритм по расчету геометрически нелинейного напряженно-деформированного состояния и устойчивости многослойных оболочек вращения.

Авторами проведено исследование влияния жесткости заполнителя на величины критических значений внешнего равномерно-распределенного давления для три- и пятислойных составных оболочек. Исследована устойчивость составных ком-

позитных оболочек переменной вдоль образующей толщины, а также оболочек, соединенных между собой кольцом. Предложенная методика реализована в виде программно-вычислительного комплекса, который может быть использован при расчете и проектировании тонкостенных неоднородных по толщине сооружений.

УДК 539.3

Трач В.М., Подворный А.В.

### **К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОГО РАВНОВЕСИЯ СОСТАВНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ**

Практическое применение составных оболочек вращения в технике обусловило попытки получения экономичных конструкций при обеспечении необходимой прочности и жесткости. Расчет таких конструкций, изготовленных из композитных материалов с низкой сдвиговой жесткостью упругих свойств, требует использования уточнённых методов.

Для получения системы геометрически нелинейных уравнений равновесия неоднородных по толщине составных оболочек несимметричной структуры воспользуемся вариантом конечно-сдвиговой теории. Сравнивая выражения потенциальных энергий ортотропной оболочки и оболочки, главные направления упругости которой отклонены на некоторый угол от координатной сетки, получим уравнения, определяющие механические параметры материала несимметричной структуры. Решение системы из десяти неоднородных дифференциальных уравнений в смешанной форме проводится с использованием метода линеаризации решения систем нелинейных уравнений.

Для реализации предложенной методики, применяя в меридиональном направлении численный метод Рунге-Кутты с дискретной ортогонализацией, а в окружном — метод прямых, разработан пакет программ для ЭВМ.

Исследовано равновесное состояние слоистых составных оболочек вращения несимметричной структуры под различными видами внешнего и внутреннего давления, условиями закрепления торцов и формы меридиана. Определены углы поворота направлений упругости, при которых компоненты напряженного состояния оболочки становятся наименьшими.

УДК 624.04

Трепачко В.М.

### **ЗАМЕНА ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИЗГИБАЕМЫХ СИСТЕМ ЭКВИВАЛЕНТНЫМИ ШАРНИРНО-СТЕРЖНЕВЫМИ**

Расчет и оптимизация изгибаемых физически нелинейных стержневых систем, даже при использовании упрощающих гипотез, представляют собой сложную задачу.

Экспериментальные диаграммы деформирования материалов можно аппроксимировать аналитическими выражениями. Согласно гипотезе плоских сечений, удлинение волокна, отстоящего на расстоянии  $z$  от нейтрального слоя, равно: