

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ОБОЛОЧКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УКЛАДКИ СЛОЁВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Адегова Л.А., кандидат технических наук, доцент кафедры
строительная механика.

Бобрышева М.В., студент гр. 214а, 2 курс

Щербинина А.Е., студент гр. 214а, 2 курс

Новосибирский государственный архитектурно-строительный
университет (Сибстрин)

г. Новосибирск

Аннотация: *Анализ устойчивости цилиндрической оболочки, выполненной из композита при расположении слоёв в пакете композиционного материала.*

Ключевые слова: *композиционные материалы, устойчивость, цилиндрическая оболочка.*

Задачи расчета на устойчивость оболочек всегда были актуальны [1], так как конструкции из оболочек широко применяются в строительстве зданий и сооружений, строении мостов, авиационной и ракетно-космической технике, автомобилестроении.

Композиционные материалы применяются практически во всех отраслях промышленности, так как обладают рядом преимуществ: коррозионная стойкость, способность к восприятию ударных нагрузок, высокая удельная прочность и стойкость к воздействию высоких температур, малый удельный вес и другие преимущества.

Наиболее востребованы в аэрокосмической промышленности, применение углепластиков позволяет уменьшить массу летательных аппаратов, что позволяет увеличить скорость и массу перевозимого груза. В настоящее время при изготовлении композитов широко используются эпоксидные смолы - олигомеры, в состав которых входят эпоксидные группы, способные под действием отвердителей образовывать сшитые полимеры [2].

Углепластик, пропитанный эпоксидной смолой, обладает очень высокой прочностью при небольшом весе. Эти характеристики делают композиты незаменимыми соединениями.

Так как композиты широко применяются во многих отраслях и в ближайшем будущем количество сфер их применения будет только увеличиваться, в исследовании рассматривается оболочка, выполненная из композиционного материала.

Поведение оболочек описывается сложными дифференциальными уравнениями, поэтому в исследовании применён метод конечных элементов,

который облегчает вычислительный процесс. Для расчёта устойчивости цилиндрической оболочки использован метод конечных элементов, реализованный в пакете прикладной программы.

Цели:

1. Рассмотреть форму потери устойчивости цилиндрической оболочки
2. Рассчитать величину критических сил в зависимости от расположения слоёв намотки в пакете композиционного материала
3. Выявить расположение слоёв намотки, при котором будет действовать максимальная и минимальная критическая сила

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для оценки влияния на величину критической силы расположения слоёв намотки цилиндрической оболочки рассмотрена цилиндрическая оболочка радиусом $R = 300$ мм и высотой $H = 600$ мм, изображённая на рисунке 1.

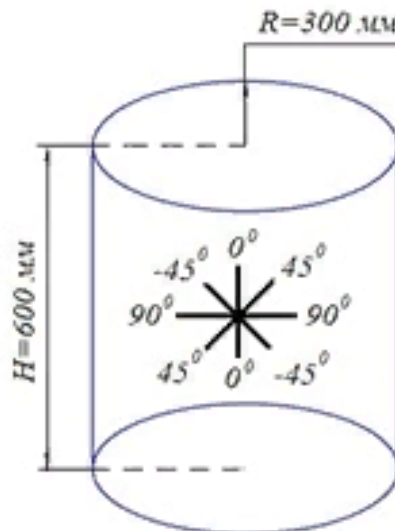


Рисунок 1 - Расчетная схема оболочки и способы укладки слоёв

Анализ устойчивости проводился с использованием пакета конечно-элементного анализа [3,4].

Для моделирования композита использовался двумерный ортотропный материал с заданными характеристиками, которые указаны в таблице 1.

Стенки цилиндрической оболочки смоделированы плоскими элементами типа *Laminate*, учитывающими слою укладки композита

Условия нагружения и закрепления реализуются с помощью двух *Rigid* элементов по торцам цилиндра. Независимые узлы *Rigid* элементов распола-

гаются на оси цилиндра, зависимые узлы — на дуге верхнего и нижнего оснований цилиндра.

Свойства	Единицы измерения	Значения
Продольный модуль упругости, E_1	МПа	147000
Поперечные модули упругости, $E_2=E_3$	МПа	7580
Модуль сдвига в плоскости пластинки, G_{12}	МПа	3960
Межслоевой модуль сдвига, G_{13}	МПа	3960
Межслоевой модуль сдвига, G_{23}	МПа	3000
Коэффициент Пуассона в плоскости пластинки, μ_{12}		0,33
Коэффициент Пуассона в межслоевом направлении, μ_{13}		0,33
Коэффициент Пуассона в межслоевом направлении, μ_{23}		0,38
Продольное растягивающее напряжение, X_t	МПа	2860
Продольное сжимающее напряжение, X_c	МПа	2860
Поперечное растягивающее напряжение, Y_t	МПа	1550
Поперечное сжимающее напряжение, Y_c	МПа	1550
Напряжение сдвига, S	МПа	104
Толщина слоя, t	мм	0,195

Таблица 1 - Характеристики цилиндрической оболочки

Независимые узлы связываются с зависимыми по поступательным степеням свободы. Этим достигается условие сохранения формы торцов цилиндра при возможных деформациях.

При проведении численного анализа к верхнему торцу оболочки прикладывалась сжимающая нагрузка, величиной $F = 100000$ Н. По нижнему торцу оболочка закрепляется по шести степеням свободы. Этим обеспечивается закрепление оболочки. Конечно-элементная модель (КЭМ) и условие нагружения оболочки показаны на рисунке 2.

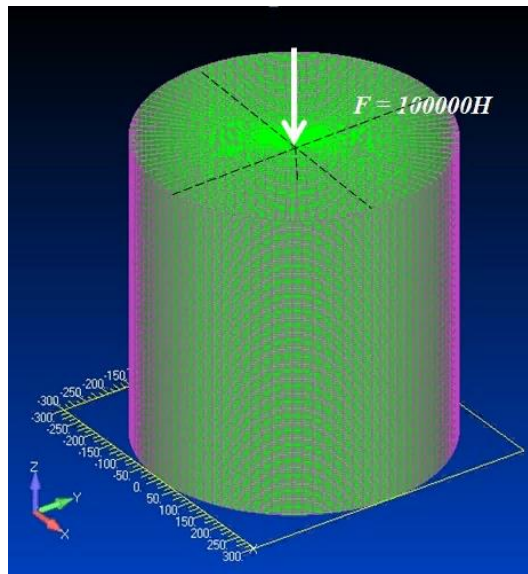


Рисунок 2 - Условие нагружения конечно-элементной модели

РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

При проведении исследования по расчету величины критической силы потери устойчивости [5,6] в зависимости от различных комбинаций слоёв намотки в пакете композитного материала цилиндрических оболочек, были выявлены максимальная и минимальная критические силы.

С помощью пакета конечно-элементного анализа проводился анализ напряженно-деформированного состояния [3,4].

При проведении анализа, с помощью метода конечных элементов, было определено значение критической нагрузки первой формы потери устойчивости цилиндрической оболочки при осевом сжатии, которое определяется соотношением: $R_{кр} = F \times \lambda$, где $F=100000\text{H}$ - сжимающая сила, а λ – коэффициент критической нагрузки при первой форме потери устойчивости.

Количество возможных вариаций для оболочки было определено по методу комбинаторики и равно 2520. Были рассчитаны критические нагрузки для 24 симметричных вариантов намоток, на основе полученных величин построен график зависимости критической силы от расположения слоев в пакете композиционных материалов, изображенный на рисунке 3. Аналогичный график построен для 180 вариантов несимметричных укладок, представленный на рисунке 4.

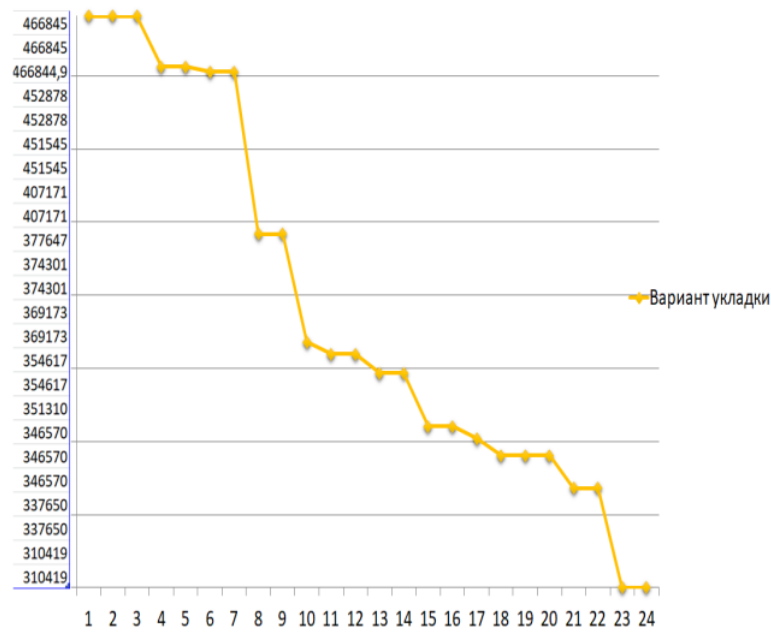


Рисунок 3 - График зависимости критической силы от симметричных укладок слоев

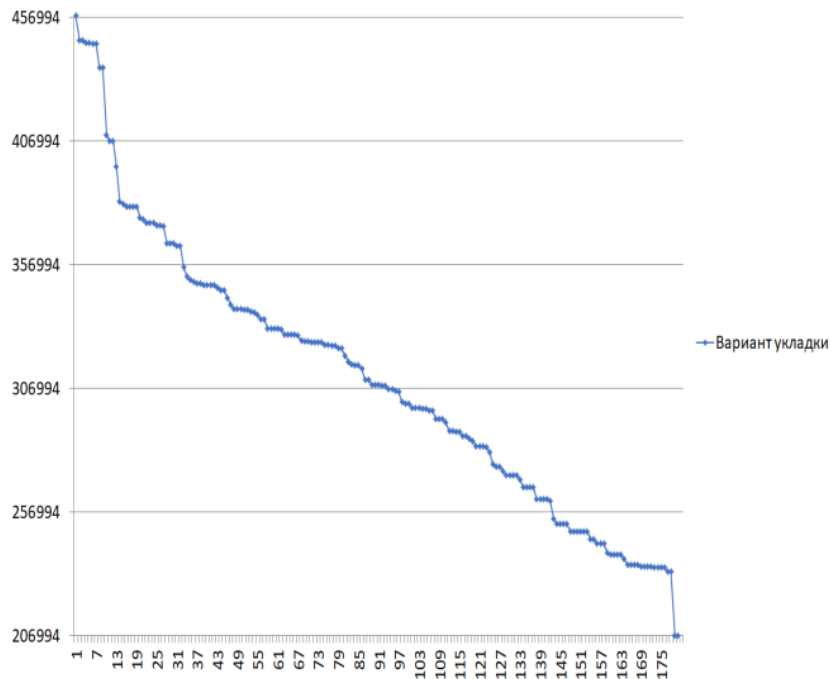


Рисунок 4 - График зависимости критической силы от несимметричных укладок слоев

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Величина критической силы и форма потери устойчивости цилиндрической оболочки зависят от положения слоев в пакете композиционного материала [7].

2. Наиболее устойчивой комбинацией намотки с точки зрения наибольшей критической силы $P_{кр\ max} = 466865\ Н$, приложенной к цилиндрической оболочке является симметричная намотка, деформация при потере устойчивости которой показана на рисунке 5. Углы намотки: $-45^\circ\ 45^\circ\ 0^\circ\ 90^\circ\ 90^\circ\ 0^\circ\ 45^\circ\ -45^\circ$.

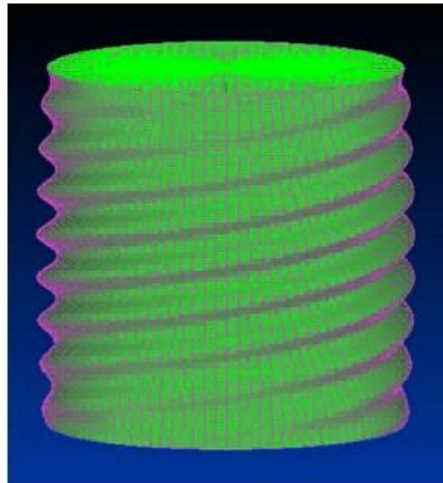


Рисунок 5 - Форма потери устойчивости при максимальной критической силе

3. Наименее устойчивой комбинацией с наименьшей критической силой $P_{кр\ min} = 206994\ Н$, приложенной к цилиндрической оболочке является несимметричная укладка слоёв, деформация при потере устойчивости которой показана на рисунке 6. Углы намотки: $-45^\circ\ -45^\circ\ 0^\circ\ 0^\circ\ 90^\circ\ 90^\circ\ 45^\circ\ 45^\circ$.

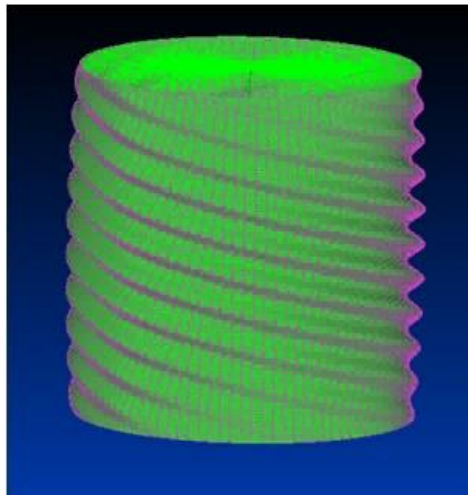


Рисунок 6 - Форма потери устойчивости при максимальной критической силе

Список литературы

1. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек. / Москва, Наука, 1978, 360 с.
2. Шалабаев А.Х., Рамазанова Ж.М., Ергалиев Д.С. Композиционные материалы на основе полимерной матрицы / Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2016. Том 2.С. 95-97.
3. Рычков, С. П. MSC.Visual NASTRAN for Windows / С.П. Рычков. – М.: НТ Пресс, 2004. – 552 с.: ил. – (Проектирование и моделирование)
4. Адегова, Л. А. Основы метода конечных элементов: учебное пособие / Л.А. Адегова, Б.М. Зиновьев. – Новосибирск: изд-во СГУПСа, 2015. – 131 с.
5. Багмутов, В. П. Элементы расчетов на устойчивость : учеб. пособие / В. П. Багмутов, А. А. Белов, А. С. Столярчук. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 56с.
6. Лукьянов А.М. Скворцов В.И. Расчет сжатых стержней на устойчивость: Методические указания. - М.:МИИТ, 2009,-36 с.: ил.
7. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд – во НГТУ, 2002. – 384 с. – (Серия «Учебники НГТУ»)