



ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Задачи механики слоистых композитов и композиционных
пластинчатых структур, решенные в программных системах
ANSYS и ESAComp

Направление: 553300 – Прикладная механика
Магистерская программа: 553303 – Вычислительная механика

Выполнил студент гр. 6055/12
Руководитель, к.т.н., проф.
Соруководитель, асс.

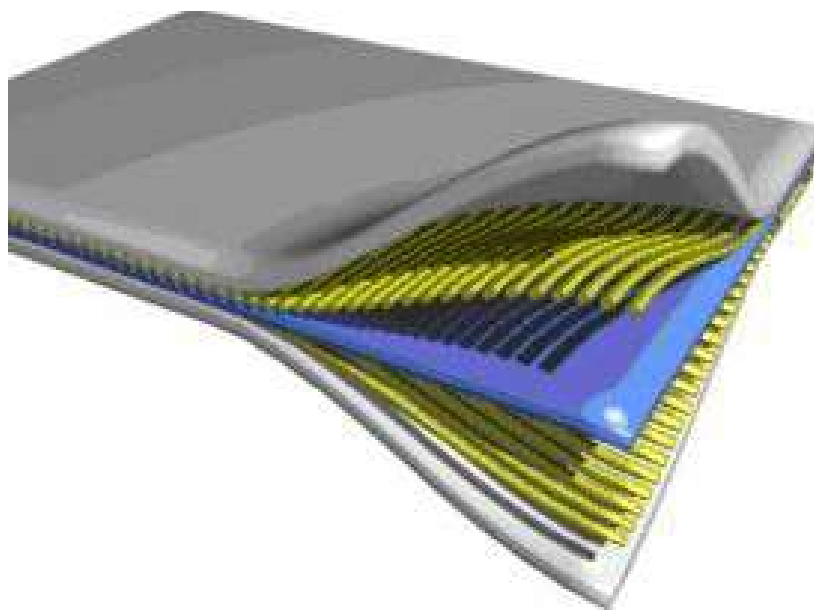
К.П. Грунтов
А.И. Боровков
А.С. Алексахин

Санкт-Петербург
2012

Понятие композиционного материала

Области применения:

- Кораблестроение
- Машиностроение
- Авиация и космонавтика
- Вооружение и военная техника
- Товары широкого потребления
(железобетон, спортивный инвентарь,
удилища...)



Основные определяющие соотношения слоистых композитных пластин

$$\xi_1 = \frac{\sigma_1}{E_1}$$

- Связь напряжения и деформации, напряжение действует вдоль волокон

$$\xi_1 = -\nu_{21}\xi_2 = -\nu_{21}\frac{\sigma_2}{E_2}$$

- Напряжение действует поперек волокон

$$E_x = \frac{1}{t\alpha_{11}} = \frac{A_{11}A_{22} - A_{12}^2}{tA_{22}}$$

$$E_y = \frac{1}{t\alpha_{22}} = \frac{A_{11}A_{22} - A_{12}^2}{tA_{11}}$$

$$G_{xy} = \frac{1}{t\alpha_{66}} = \frac{A_{66}}{t}$$

$$\nu_{xy} = -\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{11}} = -\frac{A_{12}}{A_{22}}$$

Модули для слоистых пластин



Многофункциональная программная система конечно-элементного анализа для решения задач механики, электродинамики, гидроаэродинамики и т.д.

(В работе используется:
ANSYS Mechanical)

Включает в себя: собственную базу материалов

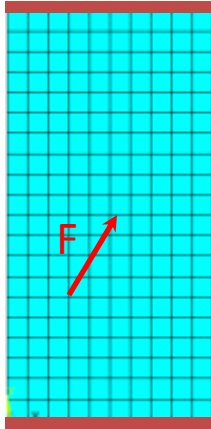
Конструкции: плоские и криволинейные слоистые панели, оребрѐнные панели, цилиндры, балки, опоры и т.д.

Расчет: прочность, динамика и потеря устойчивости

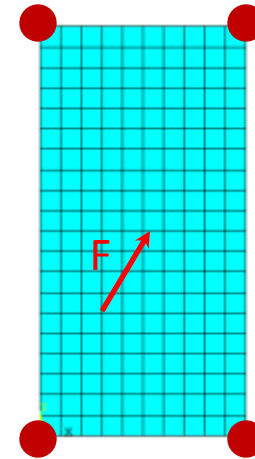


Тестовые задачи

1)



2)

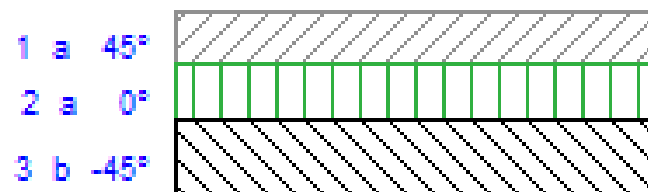


$F=10\text{ Н}$

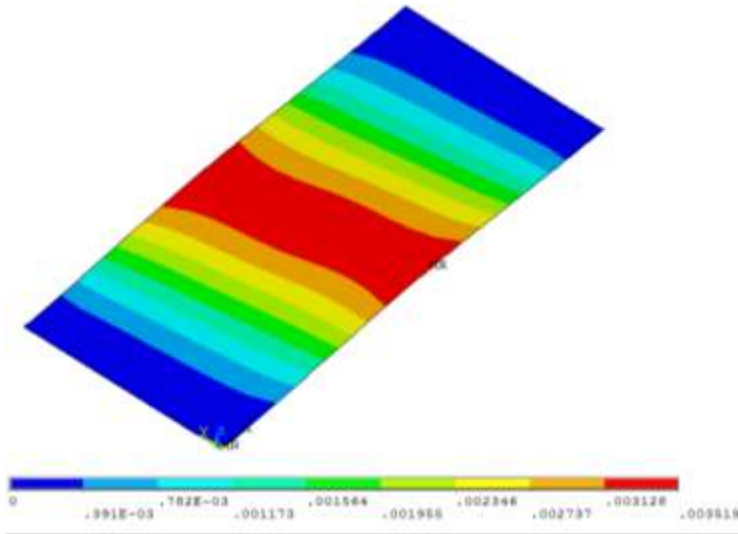
Укладка слоев

Plies

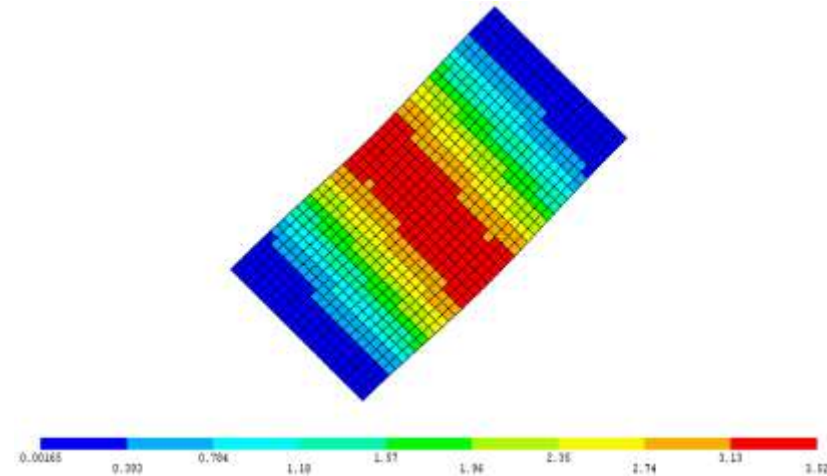
- a Kevlar 49;Epoxy;F-.236/170/50
- b Kevlar 49;Epoxy;UD-.420/242/40



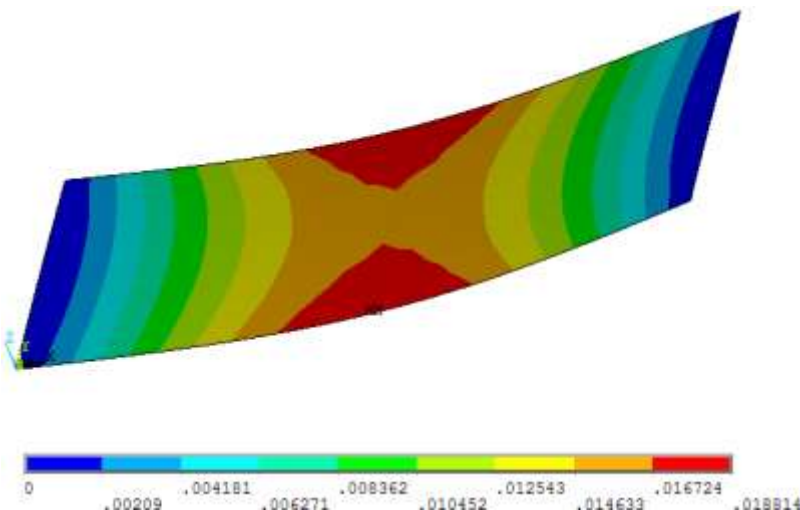
1) ANSYS:
Макс. прогиб - 3,519 мм



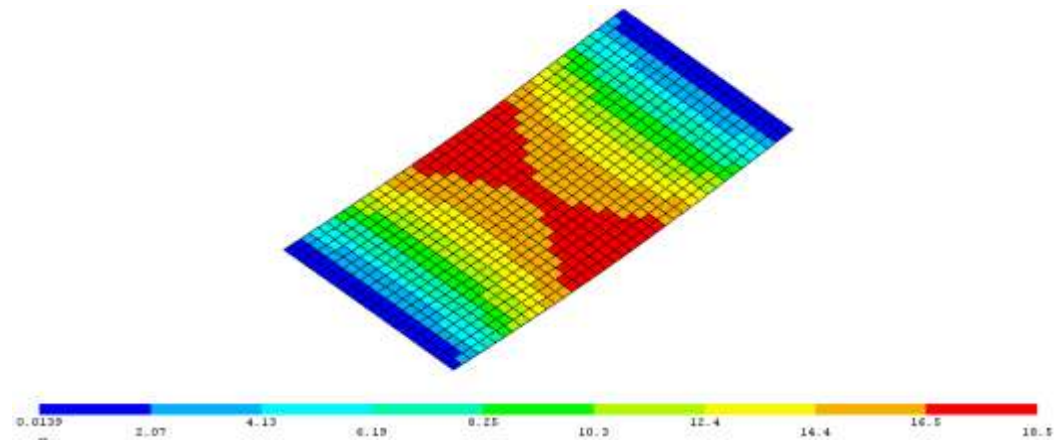
ESAComp:
Макс. прогиб - 3,520 мм



2) ANSYS:
Макс. прогиб - 18,8мм



ESAComp:
Макс. прогиб - 18,5мм



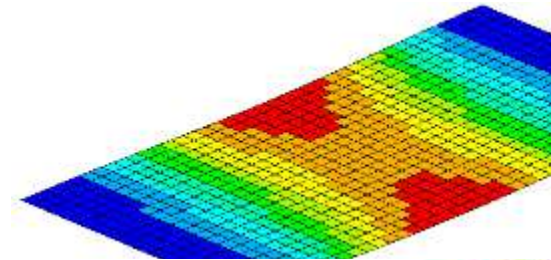
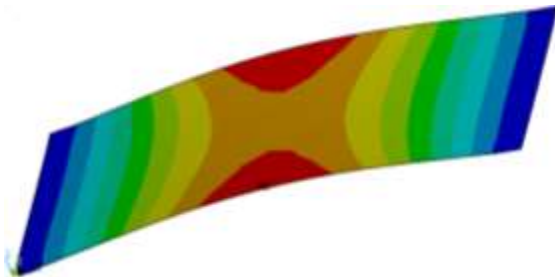
1)

Первые несколько форм колебаний пластины в ANSYS и ESAComp

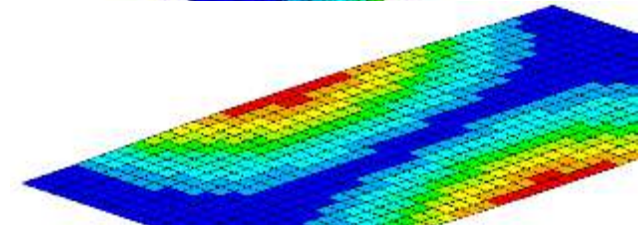
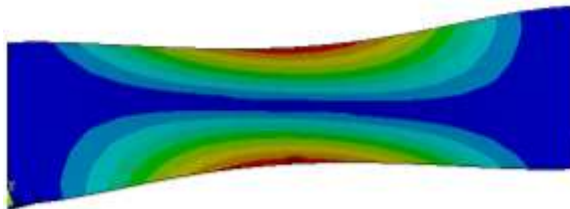
ANSYS

ESAComp

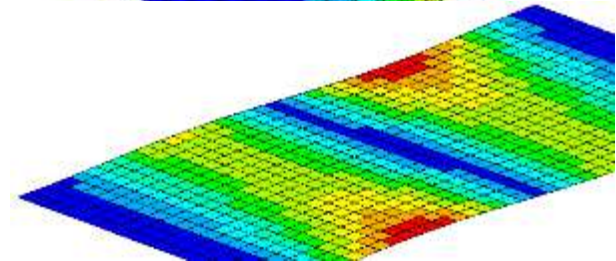
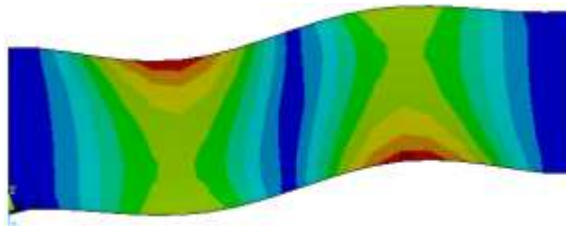
1 форма



2 форма



3 форма



ANSYS

ESAComp

Различие, %

1 частота (Гц)

84,74

84,19

0,64

2 частота (Гц)

164,44

164,69

0,15

3 частота (Гц)

239,98

235,98

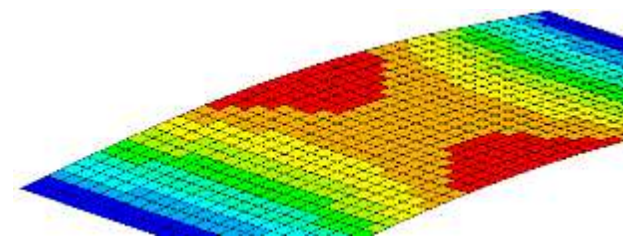
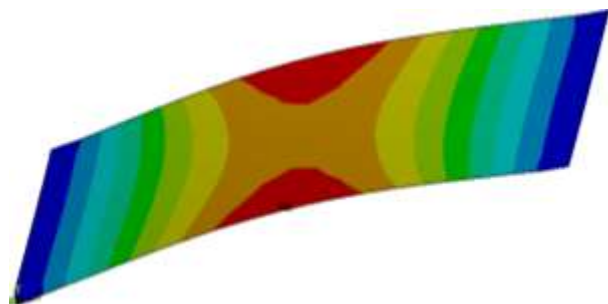
1,65

2)

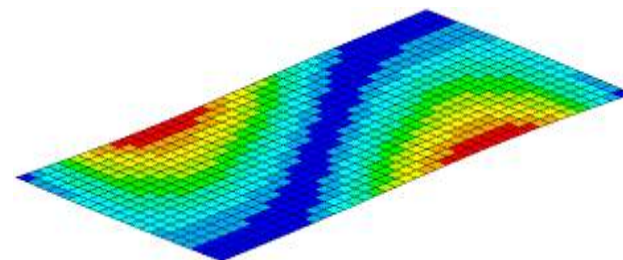
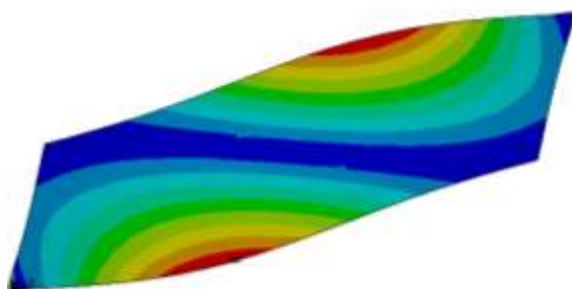
ANSYS

ESAComp

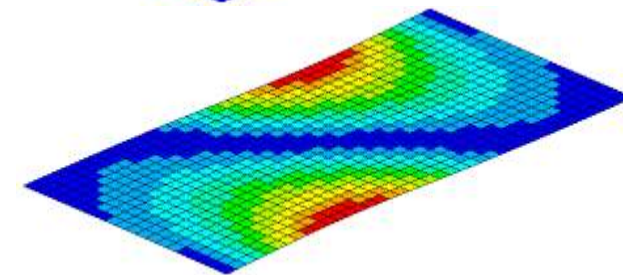
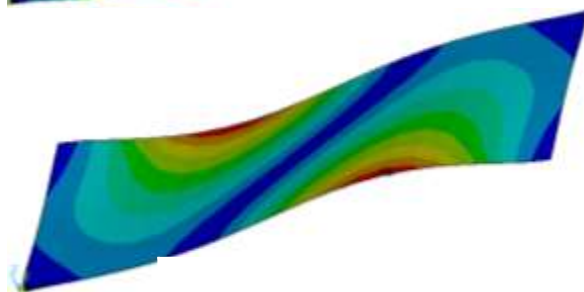
1 форма



2 форма

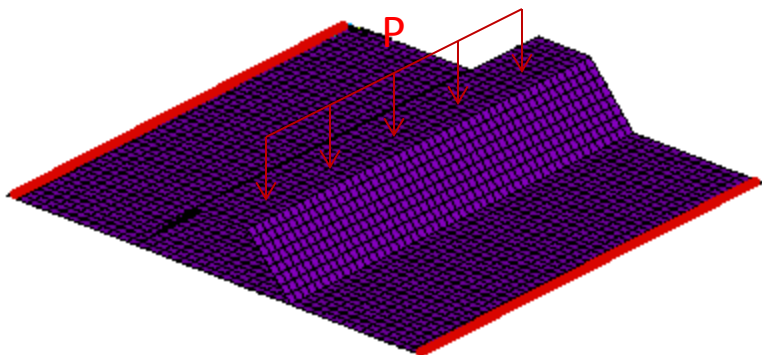


3 форма



	ANSYS	ESAComp	Различие, %
1 частота (Гц)	32,94	32,97	0,09
2 частота (Гц)	114,04	113,49	0,48
3 частота (Гц)	158,92	157,6	0,83

3) $P=100$ Па

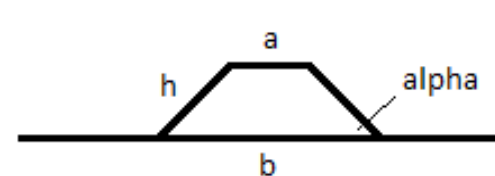
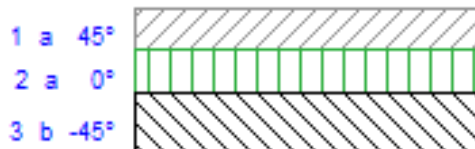


Укладка слоев Ребро жесткости

Plies

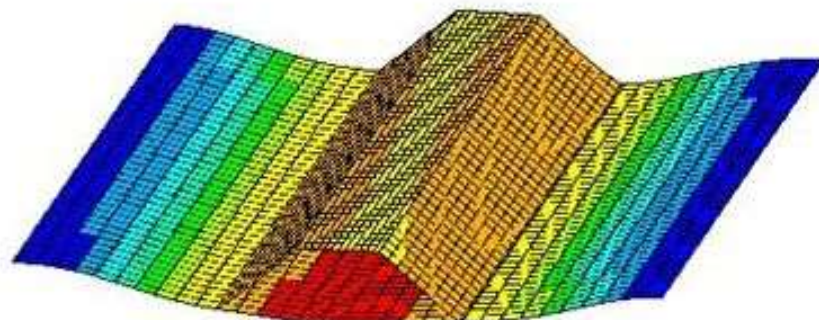
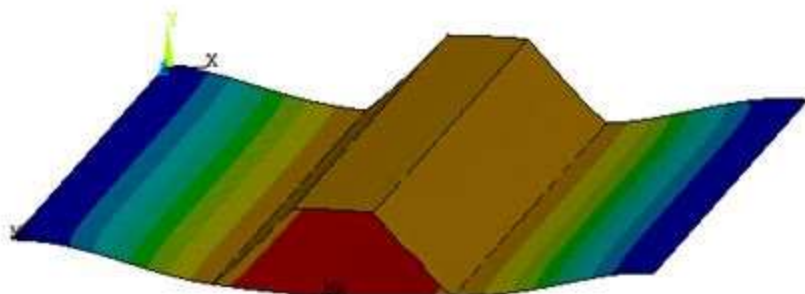
- a Kevlar 49;Эпоxy;F-.236/170/50
- b Kevlar 49;Эпоxy;UD-.420/242/40

$a=50$ мм, $b=150$ мм,
 $h=50$ мм, $\alpha=45^\circ$



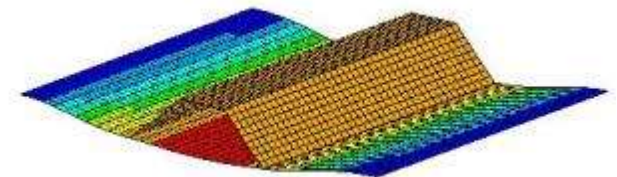
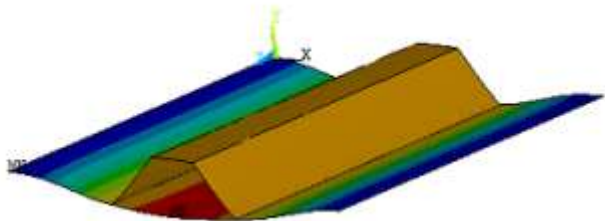
ANSYS:
Макс.прогиб - 2,36 мм

ESAComp:
Макс. прогиб -2,34 мм

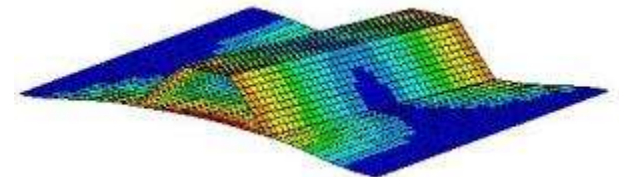
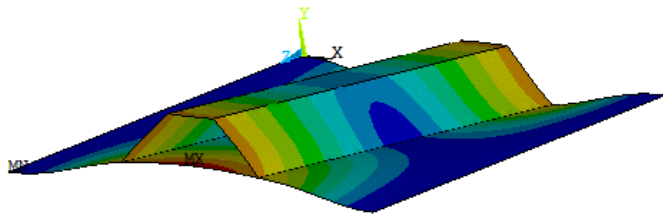


Были получены формы колебаний пластины в ANSYS и ESAComp
 ANSYS ESAComp

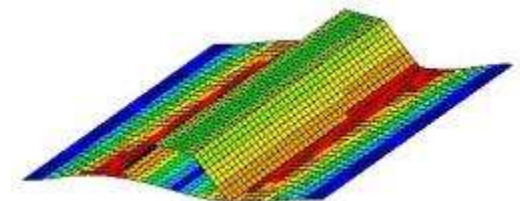
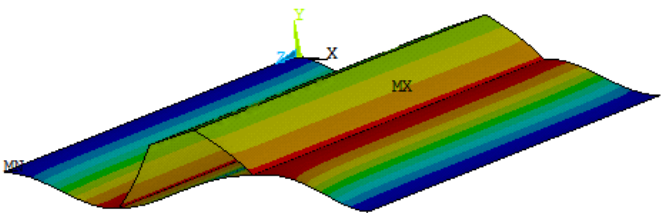
1 форма



2 форма



3 форма



	ANSYS	ESAComp	Различие %
--	-------	---------	------------

1 частота (Гц)

23.55

24.65

4.5

2 частота (Гц)

25.12

25.98

3.3

3 частота (Гц)

54.17

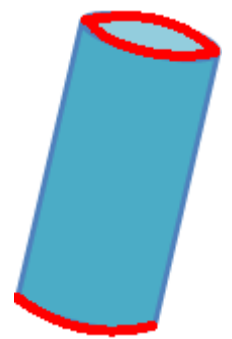
52.29

3.47

Выводы:

- В результате решения схожих задач, были получены следующие результаты:
- Значения, полученные в ANSYS и в ESAComp, практически не отличаются. Максимальная разница результатов по частотам составила 4.5%, по прогибу – не превышает 1%. Это говорит о том, что ESAComp хорошо подходит для решения заданий такого типа.

4) Исследование потери устойчивости кевларового цилиндра



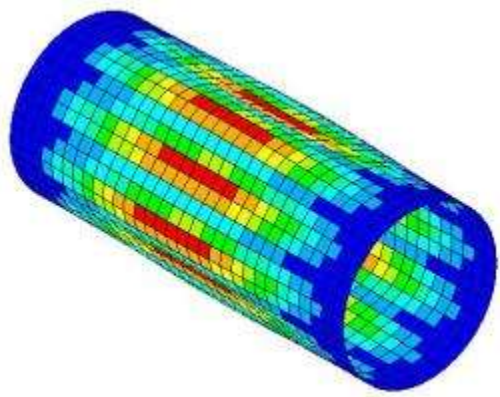
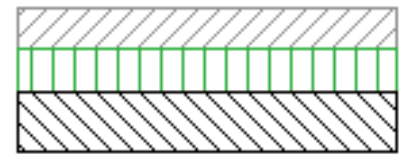
$l=1000$ мм
 $d=400$ мм
 $P = 20$ Па

Укладка слоев:

Plies

- a Kevlar 49;Эпоху;F-.236/170/50
- b Kevlar 49;Эпоху;UD-.420/242/40

- 1 a 45°
- 2 a 0°
- 3 b -45°



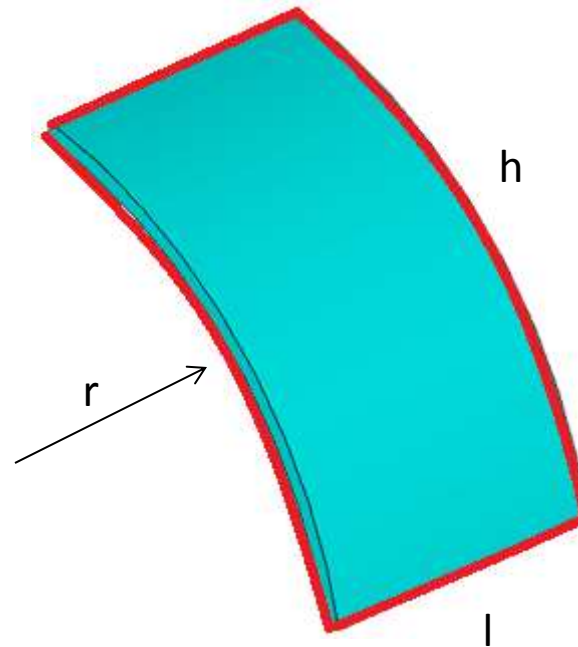
$$RF_1=448.15$$

$$448.15 * 20 = 8.96 \text{ КПа.}$$

RF_1=448.15

В ESAComp удачно реализован метод определения потери устойчивости. На решение типовой задачи затрачивается меньше времени, чем в других системах конечно-элементного анализа.

Оптимизация композитного люка батискафа



$h=1500$ мм
 $l= 800$ мм
 $r=5000$ мм

Согласно техническому заданию, на глубине 300 метров $\Delta s \leq 10$ мм

$$\sigma_{\max} < [\sigma], [\sigma] = 1830 \text{ МПа}$$

Конфигурация 1

Свойства материала (эпоксидная составляющая)

Параметры	Значения
Плотность, кг/м ³	1660
Модуль Юнга X, Па	3.29e11
Модуль Юнга Y, Па	5.63e9
Модуль Юнга Z, Па	5.63e9
Коэффициент Пуассона XY	0.31
Коэффициент Пуассона YZ	0.34
Коэффициент Пуассона XZ	0.31
Модуль сдвига XY, Па	2.1e9
Модуль сдвига YZ, Па	2.1e9
Модуль сдвига XZ, Па	2.1e9

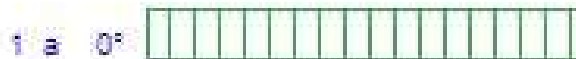
Укладка слоев

укладка волокон - 0 град., толщина 50 мм

Laminate : lam1

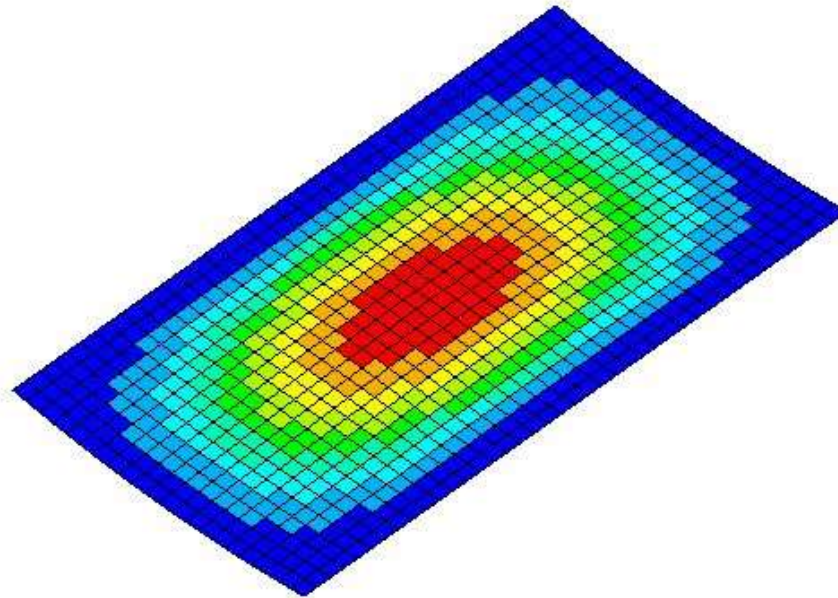
Plies

a M55J;950-1;UD-.060/070/60



Максимальный прогиб - **17,5 мм**

Максимальное напряжение - **553 МПа**



Конфигурация 2

Укладка слоев

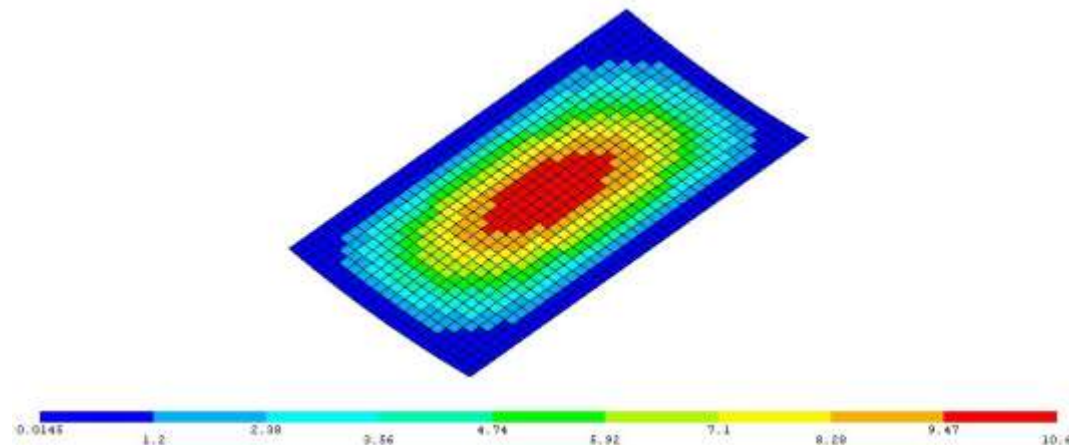
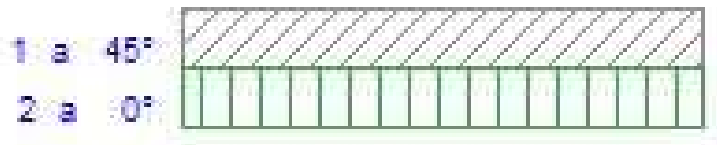
- 1 слой: Укладка 0 град., толщина 25 мм
- 2 слой: Укладка 45 град., толщина 25 мм

Максимальный прогиб - **10,6 мм**
Максимальное напряжение - **715 МПа**

Laminate : lam1

Plies

a M55J;950-1;UD-.060/070/60



Конфигурация 3

Укладка слоев

- 1 слой: Укладка 0 град., толщина 25 мм
- 2 слой: Укладка 45 град., толщина 25 мм

Laminate : lam1

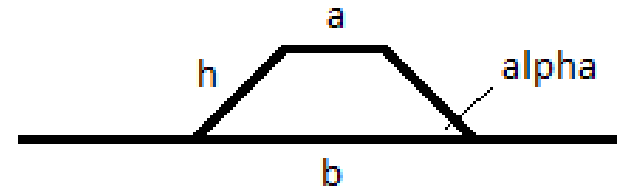
Plies

a M55J;950-1;UD-.060/070/60

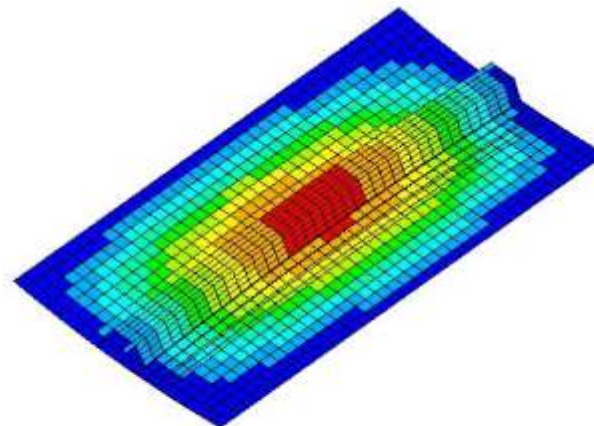


Ребро жесткости

$a=50$ мм, $b=150$ мм, $h=50$ мм, $\alpha=45^\circ$



Максимальный прогиб - **11,6 мм**; Максимальное напряжение - **200 МПа**



Конфигурация 4

Укладка слоев

- 1 слой: Укладка 0 град., толщина 25 мм
- 2 слой: Укладка 45 град., толщина 25 мм

Laminate : lam1

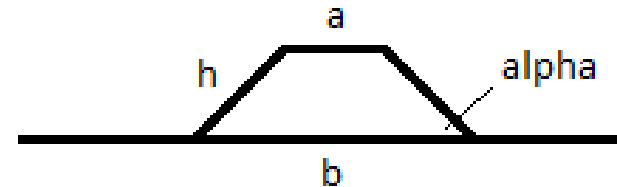
Plies

a M55J;950-1;UD-.060/070/60

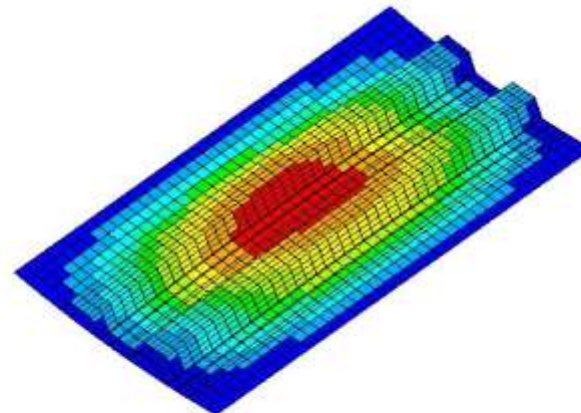


Ребро жесткости

$a=50$ мм, $b=150$ мм, $h=50$ мм, $\alpha=45^\circ$



Максимальный прогиб - **9,15мм**; Максимальное напряжение - **1760 МПа**



Конфигурация 5

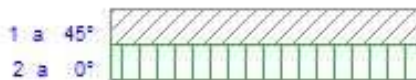
Укладка слоев

- 1 слой: Укладка 0 градусов, толщина 25 мм
- 2 слой: Укладка 45 градусов, толщина 25 мм

Laminate : lam1

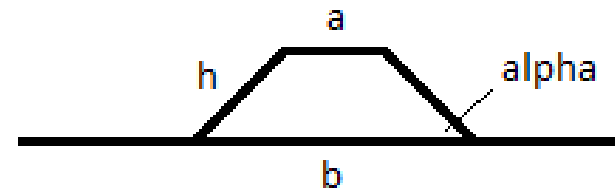
Plies

a M55J;950-1;UD-.060/070/60

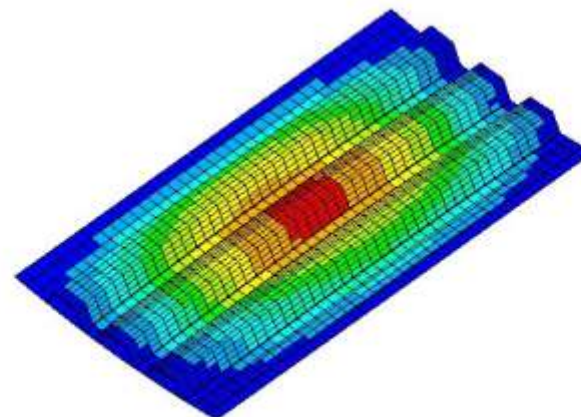


Ребро жесткости

$a=50$ мм, $b=150$ мм, $h=50$ мм, $\alpha=45^\circ$



Максимальный прогиб - **8,73 мм**; Максимальное напряжение - **154 МПа**



Конфигурация 6

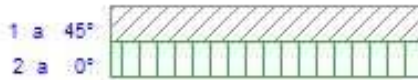
Укладка слоев

- 1 слой: Укладка 0 град., толщина 20 мм
- 2 слой: Укладка 45 град., толщина 20 мм

Laminate : lam1

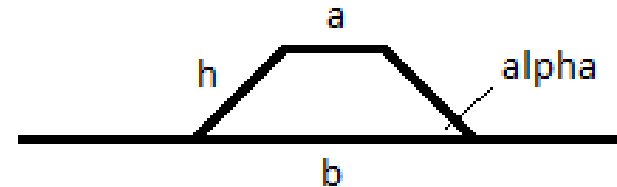
Plies

a M55J;950-1;UD-.060/070/60

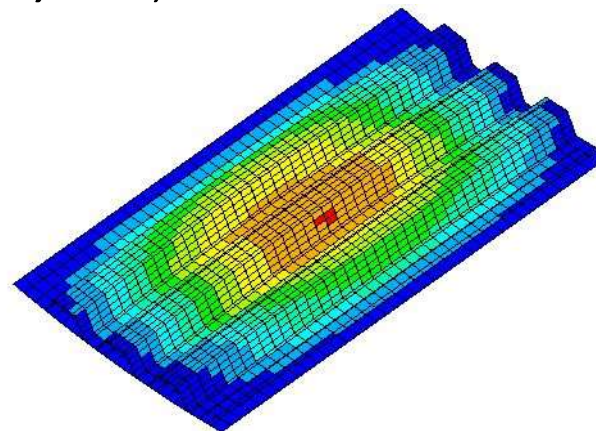


Ребро жесткости

$a=50$ мм, $b=150$ мм, $h=50$ мм, $\alpha=45^\circ$



Максимальный прогиб - **11,1мм**; Максимальное напряжение - **330 МПа**





Заключение

- Решены тестовые задачи в ANSYS и ESAComp. Сделан вывод, что ESAComp хорошо подходит для решения задач механики слоистых композитов.
- Показан пример расчёта потери устойчивости композитного цилиндра в программной системе ESAComp.
- Проведена оптимизация конструкции люка батискафа, выполненного из композиционного материала M55J (эпоксидная смола, армированная волокном). Найдено решение, оптимально удовлетворяющее условиям, наложенным на конструкцию.