

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

*Л. Н. РАБИНСКИЙ, П. С. ШЕСТЕРКИН*

*Московский авиационный институт (НИИ), Российская Федерация*

Проводится численное моделирование демпфирующих покрытий, с целью сравнения экспериментального метода при исследовании динамических характеристик консольной балки без демпфирующего слоя и с ним, а также сравнение полученных результатов разными методами.

Исследуется влияние демпфирующей ленты на динамические характеристики консольной балки и моделирование этого процесса. Были рассмотрены образцы без демпфирующих слоев, которые представляли собой металлическую пластину с габаритами 220×20мм×0,8 мм, а также с демпфирующими слоями, в ситуации, когда с двух сторон пластины была приклеена демпфирующая лента толщиной 0,14 мм. Сама металлическая пластина выполнена из алюминиевого сплава 1441, а марка демпфирующей ленты – 434 фирмы 3М.

Численное моделирование проводилось в программной среде COMSOL Multiphysics, для моделей пластин всех исследуемых размеров с демпфирующей лентой, была применена симуляция колебательного процесса аналогично физическому испытанию. Построена конечно-элементная модель пластины с сеткой.

В работе представлены результаты численного моделирования свободных колебаний алюминиевой балки-пластины без демпфирующих слоев и с наклеенными на лицевые поверхности ленты с демпфирующими свойствами (трехслойные балки). Проведен сравнительный анализ результатов исследования с применением численного моделирования с экспериментальным и аналитическим методом. Определены динамические характеристики трехслойных балок. Установлена зависимость изменения коэффициента демпфирования от амплитуды для образцов с демпфирующими лентами и без них для разных амплитуд, получена амплитудно-частотная характеристика, логарифмический декремент затухания, коэффициент демпфирования и собственная частота образцов без демпфирующего слоя и с его участием.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-01-00517.*

### Список литературы

- 1 Соломатов, В. И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В. И. Соломатов, А. Н. Бобрышев, К. Г. Химмлер ; под ред. В. И. Соломатова. – М. : Стройиздат, 1988. – 312 с.
- 2 Solyaev, Y. Direct observation of plastic shear strain concentration in the thick GLARE laminates under bending loading / Y. Solyaev, A. Babaytsev // Composites Part B: Engineering. – 2021. – Vol. 224. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109145>.
- 3 A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods / T. Sinmazçelik [et al.] // Materials and Design. – 2011. – No. 32 (7). – P. 3671–3685. – DOI: 10.1016/j.matdes.2011.03.011.
- 4 Dynamic characteristics of three-layer beams with load-bearing layers made of alumino-glass plastic / O. A. Prokudin [et al.] // PNRPU Mechanics Bulletin. – 2020. – No. 4. – P. 260–270. – DOI: 10.15593/perm.mech/2020.4.22.
- 5 Оценка эффективных механических характеристик слоистого алюмокомпозитного материала в условиях одноосного растяжения / В. В. Антипов [и др.] // Вестник Московского авиационного института. – 2018. – Т. 25, № 2. – С. 221–229.
- 6 Рабинский, Л. Н. Определение демпфирующих свойств металлической ленты марки 3М на базе решения обратной задачи динамики трехслойного стержня и экспериментальных данных / Л. Н. Рабинский, А. В. Бабайцев, П. С. Шестеркин // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2022. – Т. 28, № 3. – С. 387–398.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА ЗА ПРЕДЕЛАМИ УПРУГОСТИ

*М. М. РАСУЛМУХАМЕДОВ, А. АБДУСАТТАРОВ, З. М. МИРЗАЕВА*

*Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан*

В статье на основе теории малых упругопластических деформаций [1] рассматривается применение разработанного алгоритма [2] для анализа НДС консольного прямоугольного параллелепипеда

да. В конце параллелепипеда приложена равномерно распределенная нагрузка. Расчет выполнен при следующих данных:

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad \lambda = 0,95; \quad \mu = 0,3; \quad \sigma_s = 200 \text{ МПа}; \quad q_0 = 420; \quad q^{(k)} = (-1)^{k+1}; \quad k = \overline{1,9}.$$

Геометрические размеры параллелепипеда:  $a = 10$  см,  $b = 20$  см,  $c = 30$  см. Задача решается методом конечных элементов, расчленение области выполняется с использованием изопараметрических конечных элементов в форме шестигранника с восьмью узлами в вершинах. Характеристики параметров дискретизации и системы линейных алгебраических уравнений определяются следующими значениями: количество конечных элементов – 1000, количество узлов – 1331, порядок системы – 3993, половина ширины ленты – 402, количество делений по осям – 11,11,11.

На рисунке 1 представлены три вида упругопластической области: упругой, неполной и полной пластичности при числе циклов  $k = 1, 3, 5, 9$  для координатных точек  $x = 2,5; y = 10; z = 30$ . Отметим, что с ростом числа циклов нагружений зона пластичности уменьшается. Исследована кинематика изменения полей перемещений и напряжений параллелепипеда в зависимости от длины и числа циклов нагружений для различных конструкционных материалов [3].

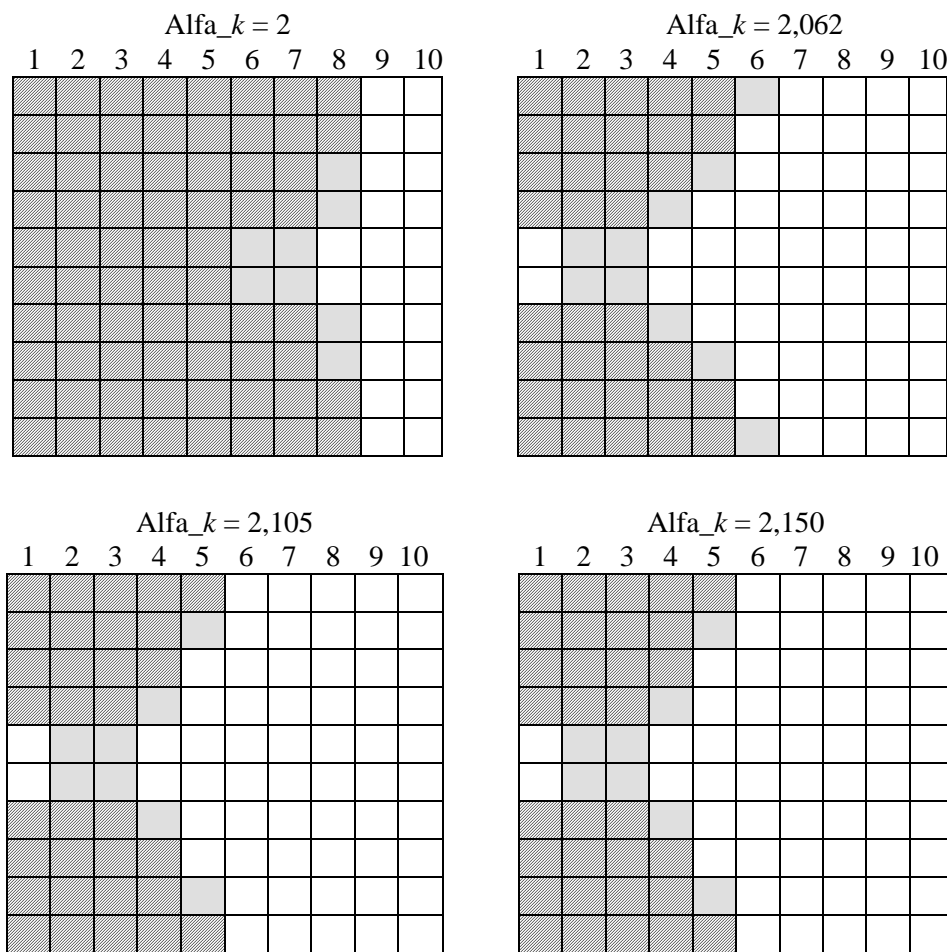


Рисунок 1 – Виды упругопластической области:

□ – упругая, ▤ – неполная, ▨ – полная пластичность

В таблице 1 для сравнения приведены максимальные значения расчетных величин для параллелепипеда соответственно по обобщенному принципу Мазинга и обобщенной диаграмме циклического деформирования Гусенкова – Шнейдеровича на основе теоремы о переменном нагружении [4].

Таблица 1 – Максимальные значения расчетных величин для параллелепипеда

$k$	$v^{(k)}$	$w^{(k)}$	$\sigma_x^{(k)}$	$\sigma_y^{(k)}$	$\sigma_z^{(k)}$
<i>По обобщенному принципу Мазинга – Москвитина</i>					
1	0,61749	-0,10211	-4518,0	-4524,8	-6618,9
2	-0,58752	0,09732	4342,7	4348,4	6464,4
3	0,55699	-0,09248	-4156,4	-4160,9	-6301,2
4	-0,55331	0,09191	4130,2	4134,6	6278,3
5	0,52489	-0,08742	-3964,0	-3967,4	-6124,4
6	-0,53542	0,08910	4014,5	4018,2	6177,9
7	0,50982	-0,08505	-3865,7	-3868,4	-6039,3
8	-0,52310	0,08717	3933,3	3936,5	6107,8
9	0,49896	-0,08335	-3793,3	-3795,7	-5977,1
<i>По обобщенной диаграмме Гусенкова – Шнейдеровича</i>					
$k$	$v^{(k)}$	$w^{(k)}$	$\sigma_x^{(k)}$	$\sigma_y^{(k)}$	$\sigma_z^{(k)}$
1	0,61749	-0,10211	-4518,0	-4524,8	-6618,9
2	-0,42184	0,07179	3297,7	3295,4	5588,6
3	0,52101	-0,08723	-3872,6	-3874,8	-6086,6
4	-0,37912	0,06525	2987,4	2982,8	5356,2
5	0,48632	-0,08189	-3627,8	-3628,2	-5894,1
6	-0,35978	0,06229	2841,6	2835,9	5253,9
7	0,46875	-0,07920	-3493,8	-3493,2	-5801,7
8	-0,34201	0,05955	2716,4	2709,6	5153,4
9	0,45861	-0,07765	-3414,2	-3412,9	-5750,0

Расчеты выполнены при следующих данных:  $\alpha_1 = 0,4$ ;  $A^* = 1,15$ ;  $G_T = 0,05$ ;  $Q = 2,02$ ;  $\varepsilon = 0,03$ . Материал конструкции – циклически упрочняющийся алюминиевый сплав Д-16Т. Условия появления вторичных, третичных и подобных пластических областей:  $\bar{\sigma}_u^{(k)} \geq \alpha_k \sigma_s$ , где  $\alpha_k$  – масштабный коэффициент. Сравнивая значения расчетных величин (с чертой): перемещений,  $\bar{w}^{(k)}$  и напряжений  $\bar{\sigma}_x^{(k)}$ ,  $\bar{\sigma}_y^{(k)}$ ,  $\bar{\sigma}_z^{(k)}$  при  $k = 2$  и  $k = 9$ , заметим, что они различаются соответственно на 12,23; 16,46 и 14,48; 14,55; 8,71 % соответственно. В этом случае значения расчетных величин по Мазингу при  $k = 1$  и  $k = 9$  различаются соответственно на 19,19; 18,36 и 16,04; 16,11; 9,69 %, а по Гусенкову – Шнейдеровичу – на 25,7; 23,94 и 24,43; 24,58; 13,11 %. При  $k = 9$  разница расчетных величин по двум теориям составляет 8,07; 6,95 и 9,98; 10,11; 3,7 %.

Таким образом, можно заключить, что разница между результатами, полученными по двум теориям, небольшая (порядка 10 %), что подтверждается экспериментально.

#### Список литературы

- 1 **Ильюшин, А. А.** Пластичность. Ч. 1. Упруго-пластические деформации. / А. А. Ильюшин. – М. : Логос, 2004. – 388 с.
- 2 **Буриев, Т.** Алгоритмическая система расчета трёхмерных упругих тел / Т. Буриев, М. М. Расулмухамедов. – Ташкент : Кибернетика АН РУз, 1994. – 147 с.
- 3 **Абдусаттаров, А.** К процедуре расчета пространственных конструкций при переменных нагрузениях с учетом упрочнения-разупрочнения / А. Абдусаттаров, М. М. Расулмухамедов // Проблемы механики. – 2015. – № 2. – С. 40–43.
- 4 **Гусенков, А. П.** Малоцикловая прочность оболочечных конструкций / А. П. Гусенков, Г. В. Москвитин, В. Н. Хошилов. – М. : Наука, 1989. – 254 с.

УДК 539.3

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ КРУГОВОЙ ПЯТИСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЫ, СИММЕТРИЧНОЙ ПО ТОЛЩИНЕ

В. С. САЛИЦКИЙ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В последнее время значительно возрос спрос на использование слоистых тонкостенных элементов конструкций в авиа-, ракето-, машиностроении и строительстве. Это обуславливает необходи-