

Выводы.

Выявлена формальная аналогия между уравнениями трехмерной модели линейной теории упругости и уравнениями Максвелла для электромагнитного поля. На основе этой аналогии получены интегральные и дифференциальные формулы, описывающие перенос энергии при поперечных смещениях сплошной упругой среды.

Выполнена краткая презентация новой модели активной механической среды, базирующейся на закономерностях упруго – пластической деформации материала. Исследованы особенности энергетического обмена в винтовой волне трансляции, распространяющейся по активной механической среде.

Список литературы: 1. *Лавинский В.И., Григорьев А.А.* Связанные колебания винтового цилиндрического стержня // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – № 47. – С. 92-104. 2. *Ванин В.А., Григорьев А.А.* Солитоны Рассела в цилиндрической пружине // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – № 30. – С. 20-30. 3. *Ванин В.А., Григорьев А.А.* Внутренние связанные колебания и экспоненциальные волны переноса в цилиндрическом стержне // Вестник НТУ «ХПИ». – 2009. – № 42. – С. 29-38. 4. *Ляв А.* Математическая теория упругости. – М.–Л.: ОНТИ, 1935. 5. *Поручиков В.Б.* Методы динамической теории упругости. – М.: Наука, 1986. 6. *Максвелл Дж.* Трактат об электричестве и магнетизме. В 2-х томах. – М.: Наука, 1989. 7. *Никольский В.В.* Теория электромагнитного поля. – М.: Высшая школа, 1964. 8. *Сидоренков В.В.* Обобщение физических представлений о векторных потенциалах в классической электродинамике // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2006. – № 1. – С. 28-37. 9. *Пуанкаре А.* О науке. – М.: Наука, 1983. 10. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1966. 11. *Мейз Дж.* Теория и задачи механики сплошных сред. – М.: Мир, 1974.

Поступила в редакцию 03.09.2010

УДК 539.3

С. ДАРЯЗАДЕ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ВОКРУГ ОТВЕРСТИЯ В ПЛАСТИНАХ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ КОМПОЗИТОВ

Робота присвячена дослідженню концентрації напружень в пластинах із композиційних матеріалів. Ефективні пружні постійні односпрямованих композитів розраховані для склопластиків та вуглепластиків з різними коефіцієнтами наповнення. Для визначення максимальних напружень на контурі отвору використане рішення плоскої задачі для ортотропного матеріалу. Проведені розрахунки для розтягнення під різноманітними кутами до головних напрямків ортотропії.

Work is devoted to the research of stress concentration in plates made from composite materials. Effective elastic constants of the unidirectional composites are combed for glass-plastics and coal-plastics with various filling factors. For definition of the maximal stress around of an hole it is used decisions for

orthotropic flat problem. Calculations for a stretching under various corners to the main directions of orthotropic material are executed.

Тонкостенные элементы конструкции из композиционных материалов широко используются в различных отраслях современной техники. По конструктивным или технологическим требованиям такие элементы ослабляются круговыми отверстиями, вокруг которых возникает концентрация напряжений. Локальное повышение напряжений оказывает существенное влияние на прочность всей конструкции.

Для пластин из изотропных материалов коэффициент концентрации зависит от условий нагружения вдали от отверстий и их взаимное расположение [1]. Для ортотропных материалов на концентраций напряжений оказывает влияние и направление главных осе ортотропии [11].

В пластинах из композиционных материалов коэффициенты концентрации зависят также от структуры композита, что определяет актуальность исследований напряженного состояние вокруг отверстий с учетом всех факторов определяющих в итоге прочностные свойства конструкций.

В настоящей работе проводится исследование концентрации напряжений вокруг отверстия в пластинах из однонаправленных волокнистых композитов в зависимости от структуры, свойств матрицы и наполнителя, условий нагружения [1-5].

Настояние исследование включает гомогенизацию и определение эффективных упругих характеристик для эквивалентного ортотропного материала, решение задач о концентрации напряжений в ортотропных пластинах и анализ основных факторов определяющих уровень концентрации напряжений.

1. Эффективные упругие постоянные однонаправленного композита.

При исследовании концентрации напряжений в композитных пластинах с отверстиями предполагается, что толщина пластины существенно меньше радиуса отверстия. Это позволяет проводить исследовании в рамках плоской задачи теории упругости.

Характерные размеры внутренней структуры композита радиус волокон и параметры представительской ячейки значительно меньше толщины пластины.

Материал пластины рассматривается как гомогенное ортотропное упругое тело.

В настоящее время существуют различные подходы к решению проблемы гомогенизации однонаправленного композита [1].

При всем их многообразии результатом являются эффективные упругие постоянные, которые связывают осредненные напряжения и деформации в ортотропном теле:

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = a_{ijkl} \langle \sigma_{kl} \rangle, \quad (i, j = 1, 2, 3). \quad (1)$$

Если координатные плоскости выбранной системы координат парал-

лельны плоскостям симметрии упругих ортотропного материала, то закон Гука имеет вид [5]:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{66} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{13} \end{bmatrix}; \quad (2)$$

Для случае плоского напряженного состояние физические соотношения физические гомогенного материала можно записать следующий образом:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ 0 & 0 & a_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

В технических приложениях часто используются следующие обозначены:

$$a_{11} = \frac{1}{E_1}; \quad a_{22} = \frac{1}{E_2}; \quad a_{44} = \frac{1}{G_{12}}. \quad (4)$$

2 Определение эффективных упругих постоянных для ортотропной пластинки. Для решения задач плоского напряженного состояние упругие свойства ортотропного тела определяются 4-я независимыми постоянными.

Для их определения использована методика решения плоских двоякопериодических задач с использованием функций комплексного переменного. Решение задач о продольно – поперечном растяжении и продольно – поперечном сдвиге позволяет получить в явном виде зависимости осредненных упругих постоянных композита от свойств материалов матрицы и волокон для различных схем армирования [3].

$$\begin{aligned} G_{12} &= G_m \frac{1-\xi + (1-\xi) \cdot G_m / G_b}{1-\xi + (1+\xi) \cdot G_m / G_b}; \\ v_{21} &= v_m - \frac{(\chi_m + 1)(v_m - v_b)\xi}{2-\xi + \chi_m \xi + (1-\xi)(\chi_b - 1) \cdot G_m / G_b}; \\ E_1 &= \xi E_b + (1-\xi)E_m + \frac{8 \cdot G_m \xi (1-\xi)(v_b - v_m)}{2-\xi + \chi_m \xi + (1-\xi)(\chi_b - 1) \cdot G_m / G_b}; \\ \frac{1}{E_2} &= \frac{(v_{21})^2}{E_1} + \frac{1}{8G} \left[\frac{2(1-\xi)(\chi_m - 1) + (\chi_b - 1)(\chi_m - 1 + 2\xi) \cdot G_m / G_b}{2-\xi + \chi_m \xi + (1-\xi)(\chi_b - 1) \cdot G_m / G_b} + \right. \\ &\quad \left. + 2 \frac{\chi_m (1-\xi) + (1+\xi)\chi_m \cdot G_m / G_b}{\chi_m + \xi + (1-\xi) \cdot G_m / G_b} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

И равенством

$$\nu_{12} = \nu_{21} \frac{E_2}{E_1};$$

где

$$\chi_m = 3 - 4\nu_m; \quad \chi_b = 3 - 4\nu_b, \quad (6)$$

где E_1, E_2, G, ν_{12} и ν_{21} – осредненные упругие постоянные, E_m, G_m, ν_m и E_b, G_b, ν_b – упругие постоянные волокна и матрицы.

Все величины, относящиеся к волокну, отмечаются индексом « b », к матрице – индексом « m ».

Для оценки пределов изменения упругих характеристик композиционных материалов находится предельное объемное содержание волокон в представительском элементе композиционного материала для двоякопериодических структур.

Рассмотрим геометрию простейших регулярных упаковок для однонаправленных волокнистых композитов. Представительская ячейка в поперечном сечении среды ограничена векторами w_1 и $w_2 = w_1 b e^{i\alpha}$.

Относительное объемное содержание волокон с радиусом « a » будет

$$\xi = \frac{\pi \cdot a^2}{w_1^2 \cdot b \cdot \sin \alpha}. \quad (7)$$

Известно [3], что в гексагональной структуре можно поместить при плотной упаковке на 15 % больше волокон, чем при тетрагональной упаковке.

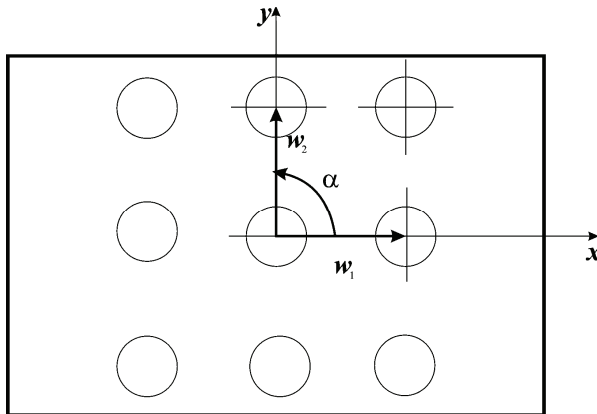


Рисунок 1 – Вид тетрагональной структуры

3 Общие выражение для функции напряжений плоской задачи теории упругости. Для получения аналитических решений плоских задач теории упругости эффективным является применение функций комплексного переменного [8]. Решение для ортотропного материала сводится к определению в

области «S» на плоскости «ху» [9], функции напряжений $F(x,y)$, удовлетворяющий дифференциальному уравнению [7]

$$\frac{1}{E_2} \cdot \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} + \left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{1}{E_1} \cdot \frac{\partial^4 F}{\partial y^4} = 0. \quad (8)$$

Введением обобщенных комплексных переменных $x + \mu_k \cdot y$ решение уравнения (8) представляется в следующем виде:

$$F = F_1(x + \mu_1 y) + F_2(x + \mu_2 y) + F_3(x + \bar{\mu}_1 y) + F_4(x + \bar{\mu}_2 y). \quad (9)$$

Здесь F_1, F_2 – произвольные функции комплексных переменных $x + \mu_k \cdot y$ или $x + \bar{\mu}_k \cdot y$.

Комплексные параметры μ_k зависят от упругих постоянных анизотропного тела. В случае ортотропной пластинки при совмещении осей системы координат с главными направлениями упругих свойств эти параметры удовлетворяют уравнению

$$\mu^4 + \left(\frac{E_1}{G} - 2 \cdot \nu_1 \right) \cdot \mu^2 + \frac{E_1}{E_2} = 0. \quad (10)$$

где μ_k – корни характеристического уравнения (10).

В зависимости от соотношений упругих постоянных возможны следующие три случая комплексных параметров. Чаще всего для реальных композиционных материалов реализуется случай различных комплексных параметров. В таком случае функция напряжений представляется в виде

$$F = 2 \cdot \text{Re} [F_1(z_1) + F_2(z_2)], \quad (11)$$

где $Z_k = x + \mu_k \cdot y$ – обобщенные комплексные переменные.

Компоненты тензора напряжений выражаются через введенные функции следующим образом

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2 \cdot \text{Re} \left[\mu_1^2 \Phi_1'(z_1) + \mu_2^2 \Phi_2'(z_2) \right]; \\ \sigma_y &= 2 \cdot \text{Re} \left[\Phi_1'(z_1) + \Phi_2'(z_2) \right]; \\ \tau_{xy} &= -2 \cdot \text{Re} \left[\mu_1 \Phi_1'(z_1) + \mu_2 \Phi_2'(z_2) \right], \end{aligned} \quad (12)$$

где введены обозначения для производных от функций комплексных переменных

$$\Phi_1(z_1) = \frac{dF_1}{dz_1}; \quad \Phi_2(z_2) = \frac{dF_2}{dz_2}; \quad \Phi_1'(z_1) = \frac{dF_1}{dz_1}; \quad \Phi_2'(z_2) = \frac{dF_2}{dz_2}. \quad (13)$$

При заданных внешних усилиях X_n, Y_n на контурах отверстий граничные условия принимают вид

$$\begin{aligned} 2 \cdot \text{Re} [\Phi_1(z_1) + \Phi_2(z_2)] &= \pm \int_0^s Y_n ds + c_1 = 0; \\ 2 \cdot \text{Re} [\mu_1 \Phi_1(z_1) + \mu_2 \Phi_2(z_2)] &= \pm \int_0^s X_n ds + c_2 = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

4 Распределение напряжений в плоских ортотропных областях с круговым отверстием. Рассмотрены случаи распределение напряжений в бесконечной ортотропной пластинке ослабленной круговым отверстием радиуса «а». Наибольшие напряжения возникают на контуре отверстия. Для оценки концентрации напряжений целесообразно представить результаты в полярной системе координат. Окружная координата θ отсчитывается от оси X. Для компактного представления результатов вводятся обозначения:

$$m = \frac{E_1}{G} - 2\nu_1; \quad k = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}; \quad n = \sqrt{2k + m}, \quad (15)$$

где E_θ – Модуль Юнга для направлений касательных к контуру отверстия

$$\frac{1}{E_\theta} = \frac{\sin^4 \theta}{E_1} + \left(\frac{1}{G} - \frac{2\nu_1}{E_1} \right) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + \frac{\sin^4 \theta}{E_2}. \quad (16)$$

В случае растяжения под углом ψ к направлению оси X окружное напряжение на контуре отверстия [7], представляется в виде

$$\sigma_\theta = P \cdot f(\theta),$$

где

$$f(\theta) = \frac{E_\theta}{E_1} \left\{ - \left[\cos^2 \psi + (k+n) \sin^2 \psi \right] k \cos^2 \theta + \left[(1+n) \cos^2 \psi - k \sin^2 \psi \right] \sin^2 \theta - n(1+k+n) \sin \psi \cos \psi \sin \theta \cos \theta \right\}. \quad (17)$$

5 Результаты вычислений. Численные результаты получены для двух видов композиционных материалов – стеклопластика и углепластика.

1 Стеклопластик. В качестве матрицы стеклопластика использовался эпоксидный полимер со следующими параметрами $E_m = 4200$ МПа; $G_m = 1500$ Мпа и $\nu_m = 0,4$.

Армирующий элемент композиции имеет механические характеристики стекловолокна $E_m = 74800$ МПа; $G_m = 31000$ Мпа и $\nu_m = 0,2$.

2 Углепластик. Для армирующего элемента – углеволокна приняты следующие упругие постоянные $E_m = 235000$ МПа; $G_m = 90400$ Мпа и $\nu_m = 0,3$. Упругие характеристики связующего равны $E_m = 3500$ МПа; $G_m = 1320$ Мпа и $\nu_m = 0,32$.

Таблица 1 – характеристики стеклопластика гексагональной структуры

ξ	E_1^0 , ГПа	E_2^0 , ГПа	G , ГПа	ν_{12}^0	μ_1	μ_2
$\xi_{\max} 0,92$	69,07	47,8	0,72	0,21	0,12I	9,7I
0,573	44,4	13,55	1,33	0,28	0,32I	5,7I
0,227	20	6,8	1,4	0,34	0,48I	3,58I
0,142	14	5,8	1,47	0,36	0,53I	2,92I
0,0574	8,2	4,9	1,49	0,38	0,62I	2,08I

Результаты получены для двух видов структур при растяжении на бесконечности напряжением $P = 100$ МПа в направлениях осей симметрии упругих свойств ортотропного материала.

Таблица 2 – максимальное напряжение при $\psi = 0$ и $\psi = 90$
для стеклопластика гексагональной структуры

ξ	$\sigma_{\theta\max} (\psi = 0)$	$\sigma'_{\theta\max} (\psi = 90)$
$\xi_{\max} 0,92$	1100	910
0,573	700	440
0,227	510	340
0,142	440	320
0,0574	380	310

Таблица 3 – характеристики стеклопластика тетрагональной структуры

ξ	E_1^0 , ГПа	E_2^0 , ГПа	G , ГПа	ν_{12}^0	μ_1	μ_2
$\xi_{\max} 0,78$	59	24,4	1,13	0,4	0,211	7,191
0,488	38,6	11,1	1,38	0,4	0,361	5,201
0,196	18	6,4	1,47	0,4	0,51	3,351
0,1225	12,8	5,6	1,48	0,4	0,551	2,751
0,049	7,6	4,8	1,49	0,4	0,631	1,981

Таблица 4 – максимальное напряжение при $\psi = 0$ и $\psi = 90$
для стеклопластика тетрагональной структуры

ξ	$\sigma_{\theta\max} (\psi = 0)$	$\sigma'_{\theta\max} (\psi = 90)$
$\xi_{\max} 0,78$	850	575
0,488	660	400
0,196	490	350
0,1225	440	310
0,049	360	305

Таблица 5 – характеристики углепластика гексагональной структуры

ξ	E_1^0 , ГПа	E_2^0 , ГПа	G , ГПа	ν_{12}^0	μ_1	μ_2
$\xi_{\max} 0,92$	216	57	0,99	0,3	0,1321	14,751
0,573	136	11,3	1,27	0,3	0,341	10,311
0,227	56	5,5	1,3	0,31	0,491	6,481
0,142	36	4,78	1,3	0,31	0,531	5,171
0,0574	16,8	4,1	1,3	0,31	0,5881	3,431

Таблица 6 – максимальное напряжение при $\psi = 0$ и $\psi = 90$
для углепластика гексагональной структуры

ξ	$\sigma_{\theta\max} (\psi = 0)$	$\sigma'_{\theta\max} (\psi = 90)$
$\xi_{\max} 0,92$	1590	860
0,573	1180	410
0,227	790	320
0,142	660	305
0,0574	500	300

Таблица 7 – характеристики углепластика тетрагональной структуры

ξ	E_1^0 , ГПа	E_2^0 , ГПа	G , ГПа	ν_{12}^0	μ_1	μ_2
$\xi_{\max} 0,78$	184	23	1,19	0,3	0,23I	12,37I
0,488	116	9,2	1,28	0,3	0,37I	9,5I
0,196	48,85	5,2	1,31	0,31	0,5I	6,0I
0,1225	31,8	4,6	1,31	0,31	0,54I	4,8I
0,049	14,8	4,06	1,32	0,32	0,6I	3,2I

Таблица 8 – максимальное напряжение при $\psi = 0$ и $\psi = 90$
для углепластика тетрагональной структуры

ξ	$\sigma_{\theta\max} (\psi = 0)$	$\sigma'_{\theta\max} (\psi = 90)$
$\xi_{\max} 0,78$	1350	540
0,488	1100	380
0,196	760	320
0,1225	650	305
0,049	480	290

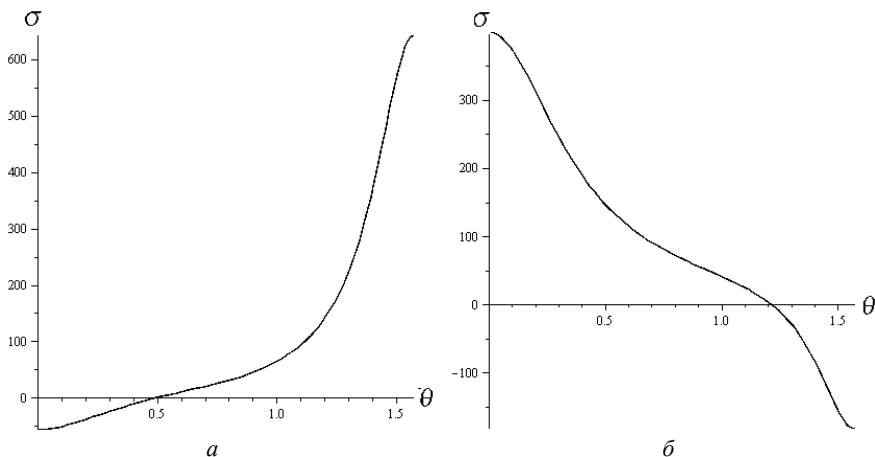


Рисунок 2 – распределение напряжений для стеклопластика гексагональной структуры (а – при $\psi = 0$; б – при $\psi = 90$)

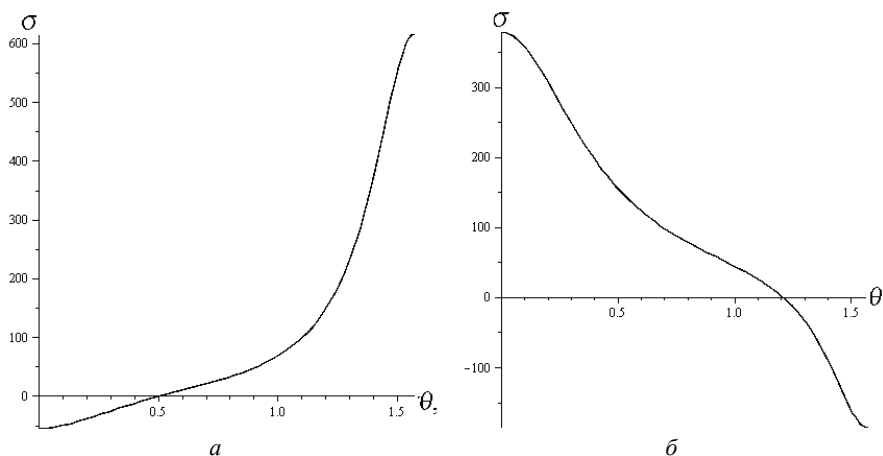


Рисунок 3 – распределение напряжений для стеклопластика тетрагональной структуры (*a* – при $\psi = 0$; *b* – при $\psi = 90$)

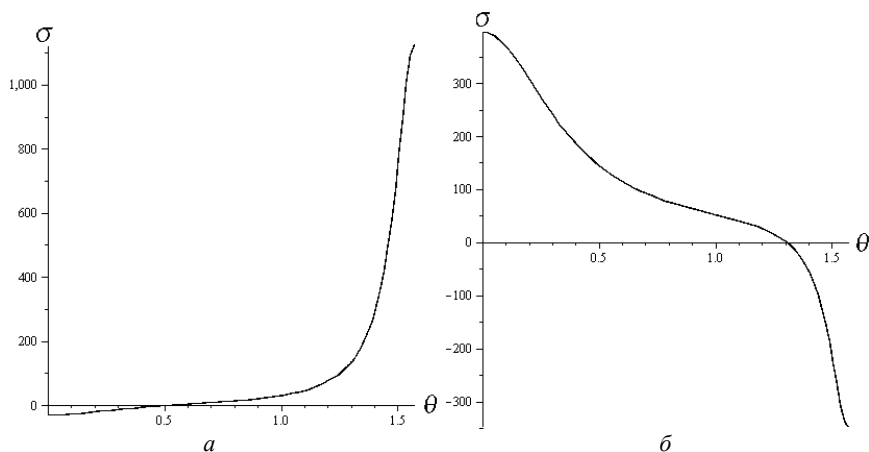


Рисунок 4 – распределение напряжений для углепластика гексагональной структуры (*a* – при $\psi = 0$; *b* – при $\psi = 90$)

В табл. 1-8 приведены упругие характеристики, корни характеристического уравнения и максимальные напряжения на контуре отверстия для гексагональной и тетрагональной структур при различных значениях относительного объемного содержания волокон.

Распределение окружных напряжений на контуре отверстия показано на рис. 2-5 для относительного объемного содержания волокон гексагональной $\zeta = 0,573$ и тетрагональной структур $\zeta = 0,488$.

Для проверки достоверности результатов решения по изложенной мето-

дике выполнен расчет по методу конечных элементов с помощью программного комплекса ANSYS[9].

Использован конечный элемент Plane 2, который содержит 6 узлов и две степени свободы в каждом узле (перемещения вдоль осей x , y). В силу симметрии задачи вычисления проведены для четверти пластины (рис. 6).

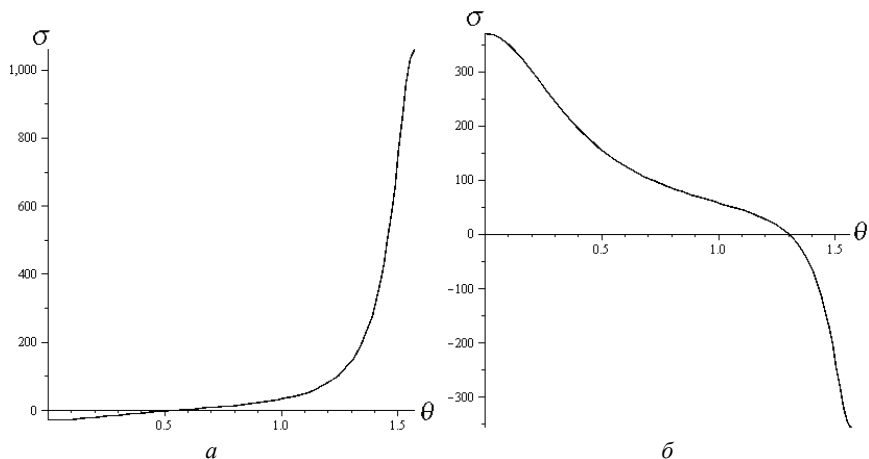


Рисунок 5 – распределение напряжений для углепластика тетрагональной структуры (a – при $\psi = 0$; b – при $\psi = 90$)

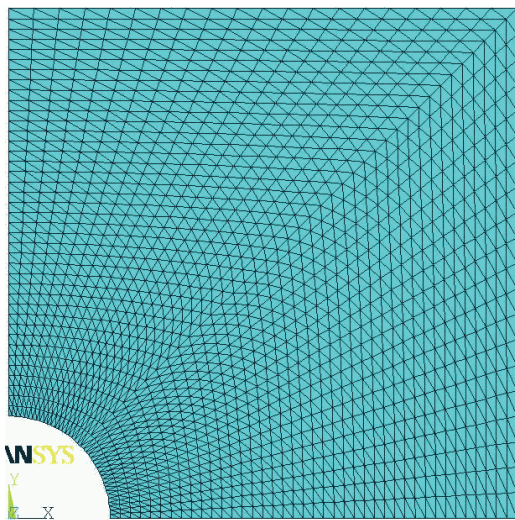


Рисунок 6 – Сетка конечных элементов

SEQV (AVG)
DMX = .238E-07
SMN =2.901
SMX =650.966

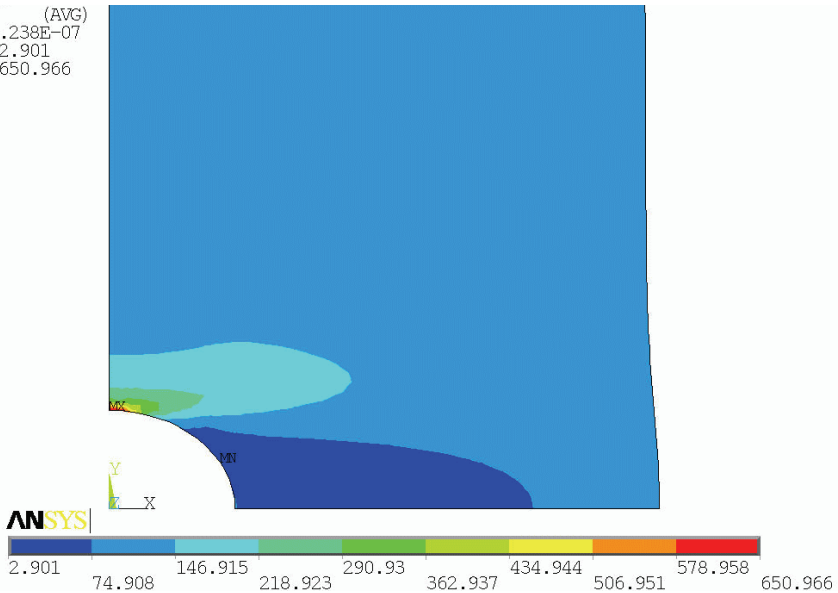


Рисунок 7 – Распределение эквивалентных напряжений для стеклопластика гексагональной структуры при $\psi = 0$

SEQV (AVG)
DMX = .515E-07
SMN =6.943
SMX =423.086

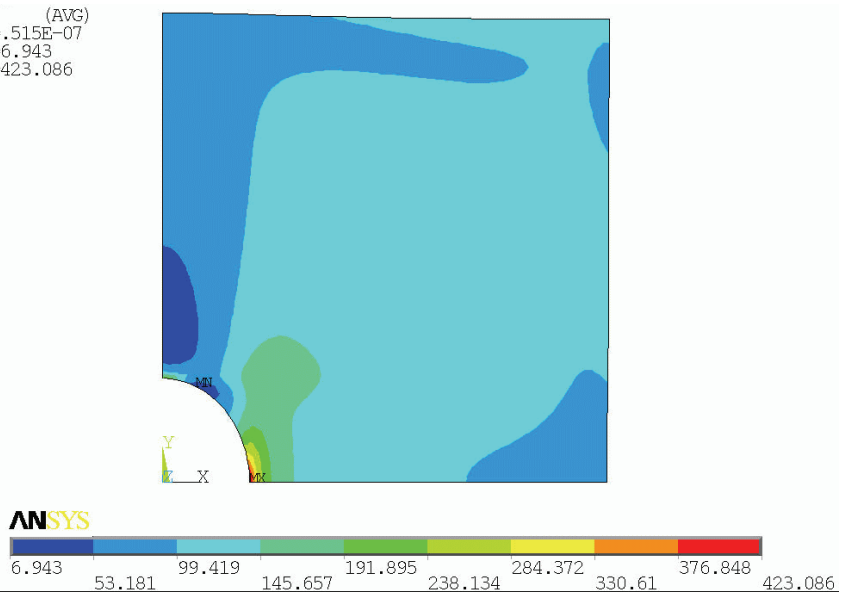


Рисунок 8 – Распределение эквивалентных напряжений для стеклопластика гексагональной структуры при $\psi = 0$

Вывод: Предложенная методика позволяет эффективно рассчитывать концентрацию напряжений вокруг отверстий в пластинах из композиционных материалов. Сравнение с численными результатами, полученными методом конечных элементов показывает, что максимальное расхождение результатов по двум методикам не превышает 4 %. Это свидетельствует о достаточной для практического применения точности предложенной методики.

Список литературы: 1. Алфутов Н.А., Зиновьев, Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин оболочек из композиционных материалов. – М: Машиностроение, 1984. – 264 с. 2. Болотин В.В., Новичков Ю.Н. Механика многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с. 3. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов. – К. Наукова думка, 1971. – 304 с. 4. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление полимерных и композитных материалов. – Рига: Зинатне, 1980. – 572 с. 5. Тарнопольский Ю.М., Розе А.В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков. – Рига: Зинатне, 1969. – 274 с. 6. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1973. – 736 с. 7. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 415 с. 8. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 708 с. 9. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1985. – 392 с. 10. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М.: Наука, 1981. – 688 с. 11. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. – К.: Наукова думка, 1968. – 888 с.

Поступила в редколлегию 13.09.2010.

УДК 539.3

Д.А.ЖИГИЛИЙ, ассистент, СумГУ, Сумы

КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ КОМБИНИРОВАННЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

На основі дискретно-структурної теорії багатощарових оболонок надана методика визначення несівної здатності двох типів балонів високого тиску із композиційних матеріалів. Запропонована нова конструкція комбінованого балону циліндричної форми. Балон включає внутрішню несівну склопластикову оболонку і зовнішню захисну металеву обшивку. Зазор між склопластиковою оболонкою і обшивкою заповнюється м'яким матеріалом, який дозволяє регулювати контактний тиск, який передається від склопластикової оболонки на обшивку.

Two types of composite cylindrical high-pressure vessels load-carrying capacity design procedure based on the discrete - structural theory are considered in this paper. The new design of the combined cylindrical vessel is offered. The cylinder includes an internal bearing fiberglass shell and an external protective metal cover. The vacancy between a fiberglass shell and a covering is filled with a soft material that allows to regulate contact pressure which is transferred from a fiberglass shell to a metal covering.