

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОЕФІЦІЄНТУ ПУАССОНА СТІЛЬНИКОВИХ СТРУКТУР

Останніми роками розширюються сфери використання текстильних стільникових конструкцій завдяки їх легкій вазі, об'ємності та міцності. Незначна зміна в конфігурації гексагональної чарунки призводить до появи аукзетик ефекту в таких матеріалах. Головною характеристикою аукзетик матеріалів є коефіцієнт Пуассона, який у них приймає від'ємне значення. Головною метою даної роботи є аналіз існуючих моделей стільникових структур та визначення формули для розрахунку коефіцієнту Пуассона основов'язаних трикотажних матеріалів, які мають видозмінену гексагональну форму елементарної чарунки.

На підставі проведеного теоретичного аналізу існуючих методів проектування коефіцієнту Пуассона звичайних та реентрабельних стільникових структур встановлено, що головними параметрами, які визначають від'ємність коефіцієнту Пуассона є співвідношення довжин ребер чарунки та кут нахилу ребра до напрямку розтягування. Запропонована формула для розрахунку коефіцієнту Пуассона аукзетик основов'язаних полотен враховує розміри чарунки, які звичайно використовуються для характеристики сітківиробів.

Ключові слова: коефіцієнт Пуассона, стільникова структура, гексагональна чарунка, реентрабельна чарунка

О.Р. KYZYMCHUK

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

THEORETICAL ANALYSIS OF POISSON'S RATIO HONEYCOMB STRUCTURE

Abstract – In recent years, the using of textile honeycomb structures is growing and expanding due to their light weight, shape and durability. Little changes in the hexagonal cell configuration leads to auxetic effect in such materials. The main characteristic of auxetic material is Poisson's ratio, which is become negative. The main purpose of this paper is to analyze the existing models of honeycomb structure and to determine the formula for the Poisson's ratio calculation of warp knitted materials having reentrant hexagonal cell.

Based on the theoretical analysis of the existing modeling methods of conventional and reentrant honeycomb structures and formulas for Poisson's ratio calculation it was found that the main parameters which determine negative Poisson's ratio is the ratio of the lengths of the cell ribs and an angle of the rib to the direction of stretching. New formulas for the Poisson's ratio calculation are proposed. They take into account the sizes of the cell, which are commonly used to characterize nets materials, and could be use for prediction Poisson's ratio of warp knit fabric.

Keywords: poisson ratio, honeycomb structure, hexagonal cell, reentrant cell.

Вступ

Останніми роками науковці та розробники все більше уваги приділяють 3D стільниковим конструкціям [1]. Загальна структура стільника складається з масиву гексагональних чарунок з довжинами стінок l і h , товщиною t і глибиною b . Композити, які виготовлені з текстильної арматури стільникового типу, суперлегкі, об'ємні та міцні, а також мають високу енергопоглинаючу здатність [2]. Стільникові конструкції можуть бути виготовлені різними способами, але перевага надається текстильним структурам завдяки їх легкій вазі і безперервності ниток протягом всієї структури. Асортимент та сфери використання таких і подібних ним матеріалів можна значно розширити за рахунок використання аукзетик матеріалів, тобто матеріалів які мають здатність розширюватися при розтягненні і звужуватися при стисканні [3].

Головною характеристикою аукзетик матеріалів є коефіцієнт Пуассона, який визначається як від'ємне відношення зміни поперечного розміру ϵ_x до зміни повздовжнього розміру ϵ_y матеріалу в напрямку навантаження [4]. Гексагональна будова чарунок в матеріалах [5] передбачає додатний коефіцієнт Пуассона при їх розтягненні. Однак незначна зміна конфігурації сторін чарунки призводить до того, що така структура перетворюється в аукзетик. Мастерс і Еванс [6] показали, що матеріали, які мають від'ємний коефіцієнт Пуассона, набувають цієї здатності в результаті геометричної конфігурації багатозначних мікроструктур. Стільники розглядаються в якості основних геометричних одиниць цих мікроструктур. Відкрита чарунка, в якій певні сторони вигнуті всередину чарунки, описана Лейксом [7], як реентрабельна. Макроскопічну аукзетик структуру вперше представлено також у вигляді стільників Гібсоном [8].

Переважає більшість розроблених аукзетик текстильних матеріалів з пряжі, яка сама по собі не є аукзетик, є трикотажними структурами. Адаже процес в'язання є найбільш універсальним методом, який забезпечує широку різноманітність структур. Існуючі на сьогодні аукзетик трикотажні матеріали створені на базі як кулірних, так і основов'язаних переплетень. Видозмінені стільникові структури реалізовані в основов'язаному трикотажі [9, 10], для вироблення якого в структуру базового філейного переплетення в якості повздовжнього утоку вводиться високоеластична нитка для забезпечення необхідної конфігурації гексагональної чарунки після релаксації нитки.

Постановка завдання

Головною метою даної роботи є проаналізувати існуючі моделі стільникових структур та визначити формулу для розрахунку коефіцієнту Пуассона основов'язаних трикотажних матеріалів, які мають видозмінену гексагональну форму елементарної чарунки.

Методи дослідження – теоретичний аналіз наукової літератури; метод геометричних моделей при проектуванні структури трикотажу.

Результати та їх обговорення

Теоретично, при прикладенні одновісного навантаження, діагональні ребра реентерабельної стільникової структури (рис.1, а) вирівнюються, що призводить до розширення матеріалу, тобто маємо аукзетик ефект. Значення коефіцієнта Пуассона в площині визначається геометрією клітини в той час як жорсткість на згин стільникоподібного матеріалу пов'язана з механізмом деформування окремих чарунок, що, в свою чергу, визначається властивостями матеріалу ребер (стінок) [8]. Стільникові чарунки можуть деформуватися в площині за рахунок прогину та розтягнення ребер чарунки та вигину (зсуву) в місцях шарнірного кріплення між ребрами. Автори [11] розробили математичні моделі на основі одного або двох з цих механізмів для конкретних геометричних структур.

У площині модулі гексагонального стільника успішно моделюються при припущенні, що ребра чарунки прогинаються як балки. Використовуючи основи механіки для розрахунку прогинів у кожній балці визначають зміни у всій чарунці, що надалі може бути використано для визначення параметрів всієї системи. На підставі чого запропоновано вирази для визначення коефіцієнтів Пуассона при одновісному навантаженні [8], результати розрахунку за якими дають гарну збіжність з експериментальними даними

$$v_{xy} = \frac{\sin \theta (h/l + \sin \theta)}{\cos^2 \theta} \text{ та } v_{yx} = \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta (h/l + \sin \theta)}. \quad (1)$$

Модель прогину була удосконалена [11] за рахунок введення деформацій розтягнення та зсуву, але ці уточнення забезпечили лише незначне поліпшення моделі. Тільки в окремому випадку, коли гексагональні стільникові чарунки знаходяться під дією двовісного навантаження, частка деформації розтягнення вважається значною.

Автори [6] спробували об'єднати в одній моделі всі три механізми зсуву, прогину і розтягування, на підставі чого отримано формули коефіцієнта Пуассона для дослідження позаосьових властивостей стільникових чарунок. Для полегшення порівняння моделей та об'єднання трьох механізмів для створення загальної моделі кожен з сил виражено через відповідну константу $K_i = F/\delta$, де δ – деформація, яку викликає прикладена сила. У загальному випадку для елементарної стільникової чарунки передбачається, що пружні константи матеріалу стінки відомі: модуль Юнга E_s і модуль зсуву G_s . На підставі чого отримані залежності для визначення констант K_i для кожного з деформаційних механізмів: прогину $K_f = E_s b t^3 / l^3$, розтягування $K_s = E_s b t / l$ та зсуву $K_h = G_s b t^3 / l^3$.

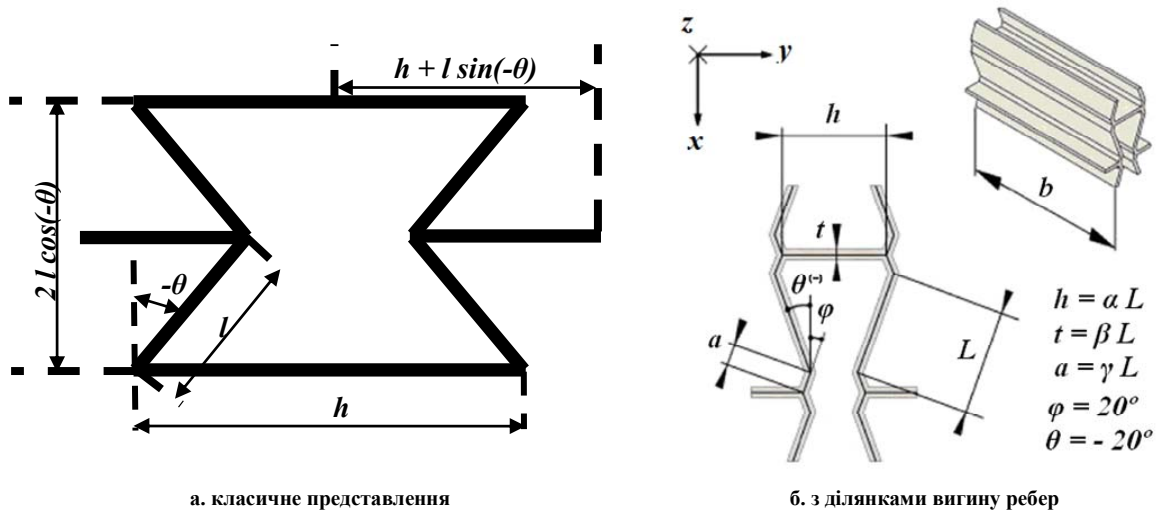


Рис. 1. Геометрична модель реентерабельної стільникової чарунки

Модель прогину (2) в повному обсязі описана Гібсоном [8] і дає повне представлення про механізм деформування реентерабельних чарунок. Встановлено взаємозалежність коефіцієнтів Пуассона при розтягуванні в двох взаємно перпендикулярних напрямках $v_{yx} = 1/v_{xy}$.

Модель розтягування передбачає, що стінки чарунки деформуються вздовж їх осей не змінюючи кута нахилу, тобто витягуються. Коефіцієнт Пуассона в даному випадку визначатиметься за рівняннями:

$$v_{xy} = -\frac{\sin \theta (h/l + \sin \theta)}{2h/l + \sin^2 \theta} \text{ та } v_{yx} = -\frac{\sin \theta}{\sin \theta + h/l}. \quad (2)$$

Слід зауважити, що у відповідності до даної моделі коефіцієнт Пуассона навіть звичайних гексагональних чарунок є від'ємним, але його значення порівняно дуже малі для суттєвого впливу на властивості матеріалу.

Модель вигину передбачає, що під дією навантаження відбувається зміна кута нахилу стінки чарунки, в той час як її довжина залишається незмінною. Коефіцієнт Пуассона в даному випадку визначатиметься за рівняннями, які є подібними до отриманих за моделлю прогину (1). Очевидно, що для

реентерабельної чарунки при від'ємному куті θ , коефіцієнти Пуассона приймають також від'ємне значення при деформуванні в обох напрямках.

В загальному вигляді з урахуванням всіх трьох механізмів деформування коефіцієнт Пуассона може бути визначений за наступними формулами [6]:

$$v_{xy} = -\sin\theta \left(\frac{h}{l} + \sin\theta \right) \frac{-\frac{1}{K_f} - \frac{1}{K_h} + \frac{1}{K_s}}{\frac{\cos^2\theta}{K_f} + \frac{\cos^2\theta}{K_h} + \frac{2h/l + \sin^2\theta}{K_s}}, \quad (3)$$

$$v_{yx} = -\frac{\sin\theta \cdot \cos\theta \left[\frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_h} - \frac{1}{K_s} \right]}{\left(\frac{h}{l} + \sin\theta \right) \left[\frac{\sin^2\theta}{K_f \cos\theta} + \frac{\sin^2\theta}{K_h \cos\theta} + \frac{\cos\theta}{K_s} \right]}. \quad (4)$$

Кожна з моделей може бути використана для прогнозування пружних властивостей як звичайних, так і реентерабельних гексагональних чарунок. Звичайні шестикутні стільникові матеріали є ізотропним в 1,2-площині для всіх трьох механізмів деформації. Отримані результати показують, що при поєднанні властивостей аукзетик стільникова структура може бути ізотропним матеріалом, на відміну від анізотропної поведінки під дією кожного з механізмів деформування поодиночі.

Але в дійсності, у більшості стільників такого типу відбувається згинання ребр (рис.1, б), що є наслідком їх шарнірного кріплення та осевого розтягування. Однак, згинання ребр також призводить до появи аукзетик ефекту в стільниках такого типу [12]. Початкові дослідження таких структур полягали, в основному, у їх аналітичних описах. Однак останнім часом з'явилися публікації, в яких до аналітичних досліджень додаються обчислювальні підходи. Сітчасті структури мають таку геометрію одиниці чарунки, яка реалізує аукзетик деформацію, що дозволяє проектувати стільники багатофункціонального використання. Їх топологія забезпечує п'ять комплектів геометричних параметрів, що сприяє проектуванню оптимальних та багатофункціональних стільникових елементів. Аналітичні описи реентерабельної гексагональної чарунки з ділянками вигину можуть бути використані для параметричного аналізу стільникових елементів в класичних та багатофункціональних композиційних матеріалах [13]. Коефіцієнт Пуассона такої структури:

$$v_{xy} = \frac{\sin\theta(\alpha + \sin\theta + 2\gamma \sin\varphi)}{\cos\theta(\cos\theta + 2\gamma \cos\varphi)}. \quad (5)$$

У реентерабельних структурах використовують від'ємне значення кута нахилу θ , що і призводить до від'ємності коефіцієнту Пуассона.

При використанні стільникових матеріалів в несучих конструкція та композитах, які забезпечують поглинання енергії, вони підлягають значним деформаціям, коли на перший план виходять нелінійне поведіння цих матеріалів. Таким чином, для аналізу процесів найбільш підходить модель великих (значних) деформацій, що і запропоновано авторами [4] для оцінки та прогнозування від'ємного коефіцієнту Пуассона аукзетик стільникових матеріалів. Встановлено, що коефіцієнт Пуассона аукзетик стільникової структури не є константою, а істотно змінюється залежно від прикладеної напруги, однак на межі малих деформацій цієї моделі він збігається з прогнозованими результатами. При значних деформаціях коефіцієнти Пуассона різні при дії навантаження стиску і розтягування. Геометричні параметри елементарного чарунки реентерабельних стільникових структур мають значний вплив на величину коефіцієнта Пуассона і можуть змінити знак коефіцієнту з від'ємного на додатний особливо при Y-напрямку розтягуванні або X-напрямку стискаючого навантаження за умови, що деформація є достатньо великою. При малих деформаціях зафіксована ортогональна симетрія коефіцієнтів Пуассона для деяких геометричних параметрів елементарної чарунки (особливо при $h/l=2$ та $\theta=30^\circ$). Взаємне співвідношення між v_{xy} і v_{yx} зберігається для всіх геометричних параметрів при малих деформаціях. Однак при значних деформація ні ортогональність симетрії, ні співвідношення коефіцієнтів не можуть бути забезпечені.

Для визначення залежності між коефіцієнтом Пуассона та параметрами структури реентерабельної стільникової чарунки авторами [14] використано метод кінцевих елементів. Для дослідження як базовий елемент прийнято трикутник, кожний з вузлів якого має три ступені свободи. В результаті проведеного аналізу встановлено, що при збільшенні ширини ребра чарунки від'ємне значення коефіцієнту Пуассона зменшується, що є свідченням високої жорсткості матеріалу. Кут нахилу є визначальним параметром, який характеризує структуру і можливість отримання аукзетик матеріалів з сировини, яка має додатний коефіцієнт Пуассона.

Загальновідомо, що трикотаж є абсолютно анізотропним матеріалом, а отже потребує особливого підходу при проектуванні та дослідженні його властивостей. Враховуючи приведені вище моделі звичайних та реентерабельних гексагональних чарунок і особливості будови основов'язаного трикотажу філейного переплетення при проектуванні аукзетик трикотажу пропонується використовувати наступні розміри елементарної чарунки (рис.2), які звичайно використовуються для характеристики сітківиробів: довжини a_1 , a_2 і ширини b_1 , b_2 вертикальної і нахиленої сторін, кроки чарунки по горизонталі t_2 і вертикалі t_6 та кут

розкриття чарунки α . Слід зазначити, що для обох варіантів справедливі наступні рівняння:

$$t_2 = 2a_2 \sin \frac{\alpha}{2}$$

та

$$t_6 = a_1 + a_2 \cos \frac{\alpha}{2} \tag{6}$$

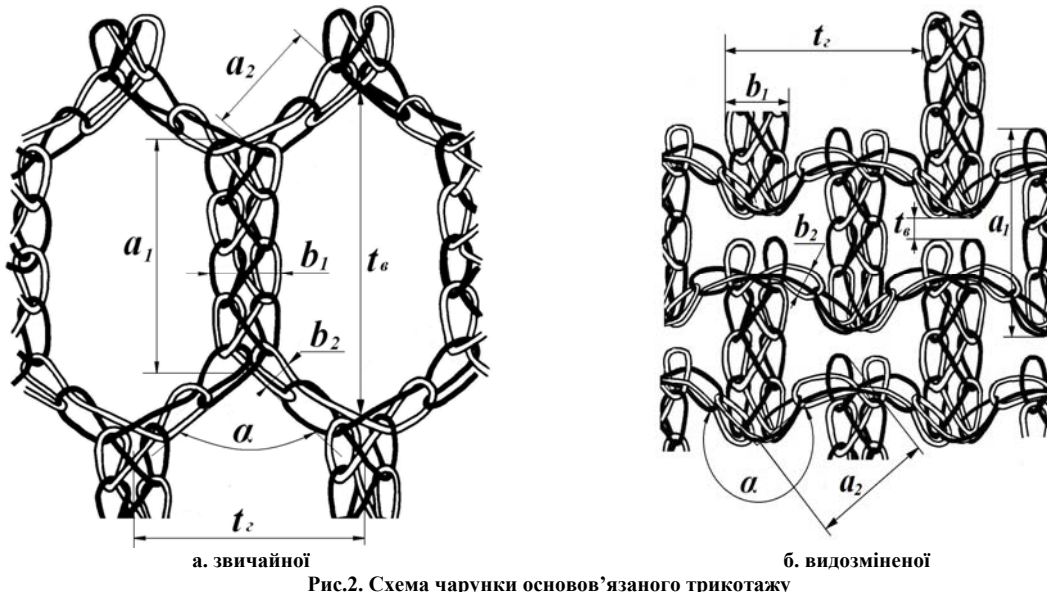


Рис.2. Схема чарунки основ'язаного трикотажу

Максимального абсолютного значення від'ємний коефіцієнт Пуассона видозміненої гексагональної чарунки (рис.2, б) досягне тоді, коли під дією навантаження нахилені ребра вирівнюються і розташуються горизонтально в структурі трикотажу. Відстань між двома вертикальними ребрами чарунки зростає від t_2 до $2a_2$ по горизонталі і від t_6 до $(a_1 - 2b_2)$ по вертикалі. Коефіцієнт Пуассона визначатиметься за формулам

$$v_{xy} = -\frac{(2a_2 - t_2)}{(a_1 - 2b_2 - t_6)} \frac{t_6}{t_2} \text{ та } v_{yx} = -\frac{(a_1 - 2b_2 - t_6)}{(2a_2 - t_2)} \frac{t_2}{t_6} \tag{7}$$

Враховуючи значення кроків чарунки (6) маємо

$$v_{xy} = \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) \frac{\left(a_1 + a_2 \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{\left(2b_2 + a_2 \cos \frac{\alpha}{2} \right)} \text{ та } v_{yx} = \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\left(1 - \sin \frac{\alpha}{2} \right)} \frac{\left(2b_2 + a_2 \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{\left(a_1 + a_2 \cos \frac{\alpha}{2} \right)} \tag{8}$$

Проведені дослідження трикотажних основ'язаних аукзетик полотен [15] показали, що властивості основ'язаного трикотажу філейно-утокового переплетення залежить від співвідношень розмірів чарунок трикотажу, головними з яких визначено: співвідношення кроків чарунок $K_1 = t_6/t_2$, відношення кроку чарунки по вертикалі до висоти вертикальної сторони $K_2 = t_6/a_1$ та тангенс кута нахилу діагональної сторони чарунки до горизонталі $\text{tg } \alpha = (t_6 - a_1)/t_2$. Введений високоеластичний компонент впливає на геометричні параметри отворів, які в поєднанні з власними співвідношеннями розмірів сторін визначають від'ємність коефіцієнту Пуассона трикотажу. Отже підтверджується правильність підходу до геометричного моделювання аукзетик основ'язаних структур та аналітичного визначення коефіцієнту Пуассона, який залежить від взаємодії петель у вертикальних і горизонтальних ребрах чарунки в'язаного сіткоплатна.

Висновки

На підставі проведеного теоретичного аналізу існуючих методів проектування коефіцієнту Пуассона звичайних та реентерабельних стільникових структур встановлено, що головними параметрами, які визначають від'ємність коефіцієнту Пуассона є співвідношення довжин ребер чарунки та кут нахилу ребра до напрямку розтягування. Запропоновані формули для розрахунку коефіцієнту Пуассона аукзетик основ'язаних полотен враховують розміри чарунки, які звичайно використовуються для характеристики сітковиробів.

Література

1. Bizer T. Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing / Bizer T. – London : Chapman and Hall, 1997. – 233 p.
2. Chen X. Design, manufacture and experimental analysis of 3D honeycomb textile composites Part 1:

Design and manufacture / X. Chen, Y. Sun, X. Gong // Textile research journal. – 2008. – Vol. 78. Issue 9. – P. 771–781.

3. Кизимчук О.П. «Auxetic» матеріали – новий клас текстильних матеріалів / О.П. Кизимчук // Вісник КНУТД. Спец. випуск. – 2008. – № 1. – Т. 2. – 50–52.
4. Wan H. A study of negative Poisson's ratios in auxetic honeycombs based on a large deflection model / Wan H, Ohtaki H, Kotosaka S, Hu G. M // European Journal of Mechanics Solids. – 2004. – Vol. 23. – P. 95–106.
5. Whitty J.P.M. Towards the design of sandwich panel composites with enhanced mechanical and thermal properties by variation of the in-plane Poisson's ratios / Whitty J.P.M., Alderson A., Myler P., Kandola B // Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2003. – Vol. 34. – P. 525–534.
6. Masters I.G. Models for the elastic deformation of honeycombs / IG Masters and KE Evans // Composite Structures. – 1996. – Vol. 35. – P. 403–422.
7. Lakes R.S. Deformation mechanisms in negative Poisson's ratio materials: structural aspects / Lakes R.S. // Journal of Materials Science. – 1991. – Vol. 26. – P. 2287–2292.
8. Gibson L.J. The Mechanics of Two Dimensional Cellular Materials / Gibson L.J., Ashby M.F., Schajer G.S., Robertson C.I. // Proceeding of London Royal Society. – 1982. – Vol. A382. – P. 25–42.
9. Кизимчук Е. Строеие и проектирование основовязаных auxetic полотен / [Е. Кизимчук, С. Угболу, Й. Ким та ін.] // Технический текстиль. – 2008. – № 17.
10. Ugbolue S. The formation and performance of auxetic textiles. Part II: geometry and structural properties / S.C. Ugbolue, Y.K. Kim, S.B. Warner, Q. Fan, C.L. Yang, O. Kyzymchuk, Y. Feng, J. Lord // Journal of the Textile Institute. – 2011. – Vol. 102, Issue 5. – P. 424–433.
11. Gibson L.J. Cellular Solids: Structure and Properties / Gibson L.J., Ashby, M.F. – London: Cambridge University Press. - 1999. – 510 p.
12. Alderson A. Auxetic materials / Alderson A., Alderson K.L. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering. – 2007. – Vol. 221. – P. 565–575.
13. Bezazi A. A novel centresymmetric honeycomb composite structure / A. Bezazi, F. Scarpa, C. Remillat // Composite Structures. – 2005. – Vol. 71. – P. 356–364.
14. Yang D.U. Geometric effect on micropolar elastic honeycomb structure with negative Poisson's ratio using finite element method / Yang D.U., Lee S., Huang F.Y. // Finite Elements in Analysis and Design. – 2003. – Vol. 39. – P. 187–205.
15. Ugbolue S. Engineered Warp Knit Auxetic Fabrics / S.C. Ugbolue, Y. Kim, S. Warner, Q. Fan, C.L. Yang, O. Kyzymchuk, Y. Feng, J. Lord // Journal of Textile Science & Engineering. – 2012. – Vol. 2. – Issue 1.

References

1. Bizer T. Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing / Bizer T. – London: Chapman and Hall, 1997. – 233p.
2. Chen X. Design, manufacture and experimental analysis of 3D honeycomb textile composites Part 1: Design and manufacture / X. Chen, Y. Sun, X. Gong // Textile research journal. – 2008. - Vol.78. Issue 9. – P.771-781.
3. Kyzymchuk O.P «AUXETIC» materials – new class of textile materials / Kyzymchuk O.P // Bulletin of KNUITD. - 2008. - №1, Special Issue. Vol.2 - P. 50-52. (In Ukrainian).
4. Wan H. A study of negative Poisson's ratios in auxetic honeycombs based on a large deflection model / Wan H, Ohtaki H, Kotosaka S, Hu G. M // European Journal of Mechanics Solids. – 2004. – Vol.23. – P.95-106.
5. Whitty J.P.M. Towards the design of sandwich panel composites with enhanced mechanical and thermal properties by variation of the in-plane Poisson's ratios / Whitty J.P.M., Alderson A., Myler P., Kandola B // Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing. – 2003. – Vol.34. – P.525-534.
6. Masters I.G. Models for the elastic deformation of honeycombs / IG Masters and KE Evans // Composite Structures. – 1996. – Vol.35. – P.403-422.
7. Lakes R.S. Deformation mechanisms in negative Poisson's ratio materials: structural aspects / Lakes R.S. // Journal of Materials Science. – 1991. – Vol.26. – P.2287-2292.
8. Gibson L.J. The Mechanics of Two Dimensional Cellular Materials / Gibson L.J., Ashby M.F., Schajer G.S., Robertson C.I. // Proceeding of London Royal Society. – 1982. - Vol. A382. - P.25-42.
9. Kyzymchuk O. Design and Structure of Warp Knit Auxetic Fabrics / O. Kyzymchuk, S.C. Ugbolue, Y.K. Kim, S.B. Warner, Q. Fan, C.L. Yang, Y. Feng. // Russian Journal Technical Textiles. - 2008. - № 17. (In Russian)
10. Ugbolue S. The formation and performance of auxetic textiles. Part II: geometry and structural properties / S.C. Ugbolue, Y.K. Kim, S.B. Warner, Q. Fan, C.L. Yang, O. Kyzymchuk, Y. Feng, J. Lord // Journal of the Textile Institute - 2011. – Vol.102, - P.424-433.
11. Gibson L.J. Cellular Solids: Structure and Properties / Gibson L.J., Ashby, M.F. – London: Cambridge University Press. - 1999. – 510 p.
12. Alderson A. Auxetic materials / Alderson A, Alderson K.L. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering. – 2007. – Vol.221. – P.565-575.
13. Bezazi A. A novel centresymmetric honeycomb composite structure./ A. Bezazi, F. Scarpa, C. Remillat. // Composite Structures. – 2005. – Vol. 71. - P.356-364.
14. Yang D.U. Geometric effect on micropolar elastic honeycomb structure with negative Poisson's ratio using finite element method / Yang D.U., Lee S., Huang F.Y. // Finite Elements in Analysis and Design. – 2003. – Vol.39. – P.187-205.
15. Ugbolue S. Engineered Warp Knit Auxetic Fabrics / S.C. Ugbolue, Y.K. Kim, S.B. Warner, Q. Fan, C.L. Yang, O. Kyzymchuk, Y. Feng, J. Lord // Journal of Textile Science & Engineering. – 2012. - Volume 2, Issue 1. - DOI:10.4172/2165-8064.1000e103.

Рецензія/Peer review : 1.2.2014 р. Надрукована/Printed :7.2.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф., зав.кафедри технолоії та конструювання швейних виробів
Київського національного університету технологій та дизайну Березненко С.М.