

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ У ПРОГНОЗУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИКОТАЖУ

Попри значні досягнення у сфері моделювання структури текстильних матеріалів, задача забезпечення можливості застосування програмно-аналітичних комплексів для прогнозування властивостей трикотажу ускладнюється великою кількістю невирішених питань, серед яких відсутність стандартизованих методик досліджень у сфері 3D моделювання та симуляції фізичних процесів у текстильних матеріалах, способів верифікації моделей, відсутність баз даних фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів.

У ході роботи проаналізовано сучасні підходи до створення моделей структури трикотажу та вимоги до таких моделей з точки зору можливості їх подальшого використання у віртуальних експериментах. Розроблено загальну схему прогнозування властивостей трикотажу з використанням тривимірних геометричних моделей його структури. Сформульовано та запропоновано дотримуватись таких п'яти принципів моделювання структури трикотажу: принцип виробничої доцільності, принцип параметризації, принцип декомпозиції, принцип реалістичності та принцип раціонального використання інформаційних ресурсів. Для реалізації принципу раціонального використання інформаційних ресурсів розроблено алгоритм дворівневого проектування з використанням моделей мезо- та макрорівнів.

Відомо, що дослідження властивостей трикотажу за допомогою його тривимірних геометричних моделей не завжди потребують деталізації на рівні ниток. Текстильні полотна відносяться до гетерогенних систем. Дворівневе проектування передбачає необхідність використання моделей з деталізацією на рівні ниток (моделей мезорівня) на початковому етапі для виокремлення елементарного структурного фрагменту, за допомогою якого можуть бути розраховані гомогенізовані фізичні характеристики. На наступному етапі трикотажне полотно або виріб подається у систему проектування у вигляді макромоделей як оболонка заданої товщини, фізико-механічні характеристики якої приймаються з розрахунку попереднього етапу.

Ключові слова: трикотаж, прогнозування властивостей, тривимірне моделювання, дворівневе проектування, макромоделі.

T. YELINA, L. HALAVSKA

Kyiv National University of Technologies and Design

USE OF COMPUTER TOOLS IN FORECASTING THE PROPERTIES OF KNITWEAR

The paper presents the results of analysis of scientific research and publications in the field of development of three-dimensional geometric models of knitted structures, current issues of designing knitwear with given properties, the capabilities of modern computer tools. Despite significant advances in 3D modelling of textile materials, the challenge of providing the possibility of using simulation software to predict the properties of knitwear is complicated because of a large number of unresolved issues, including the lack of standardized research methods in 3D modelling and simulation of physical processes in textile materials, verification methods, lack of databases of physical and mechanical properties of textile materials, etc. Modern approaches to the creation of models of knitted structures are being explored as well as the requirements to such models from the point of view of the possibility of their further use in virtual experiments. A general diagram for predicting the knitwear properties by means of three-dimensional geometric modelling has been developed. The following five principles of three-dimensional geometric modelling of the knitted structures are suggested as follows: the principle of production feasibility, the principle of parameterization, the principle of decomposition, the principle of realism, and the principle of rational use of information resources. To implement the latter principle, a two-level design algorithm using meso- and macro-level models have been developed. As is known, the study of the properties of knitwear using its three-dimensional geometric models may not always require the use of yarn level models. Textile fabrics belong to heterogeneous systems. Two-level design presupposes the need to use the yarn level models (Meso level models) at the initial stage to explore the elementary structural fragment, which can be used to calculate homogenized physical characteristics. At the next stage, the model of the knitted fabric or product is transmitted into the design system under the form of macro models, as a shell of a given thickness, the physical and mechanical characteristics of which are taken from the calculation of the previous stage.

Keywords: knitting, property forecasting, 3D modelling, two-level design, macro models.

Вступ

Сучасні універсальні програмно-аналітичні комплекси дозволяють досліджувати й аналізувати фізичні, механічні, експлуатаційні властивості об'єктів за допомогою їх тривимірних комп'ютерних моделей, однак, застосування цих засобів до аналізу та прогнозування властивостей текстильних виробів ускладнюється рядом факторів. До таких факторів можна віднести нестабільність геометричних характеристик структури, анізотропію властивостей, відсутність баз даних фізико-механічних характеристик матеріалів та інші. Дослідження у сфері 3D моделювання структури трикотажу стрімко розвиваються впродовж останніх десятиліть, проте, говорити про впровадження у повсякденну практику науковців програмних засобів аналізу фізико-механічної поведінки трикотажу шляхом проведення віртуальних експериментів поки що зарано. Підвищити ефективність роботи зі створення спеціальних методик та алгоритмів визначення фізико-механічних характеристик трикотажу можна шляхом застосування системного підходу та дотримання загальних принципів, сформульованих на підставі аналізу вимог у сфері виготовлення трикотажу з прогнозованими властивостями та можливостей сучасних комп'ютерних технологій.

Постановка задачі

В сучасній інженерній практиці виникає необхідність у прогнозуванні механічної та термічної поведінки текстильних композитів, так званих штучних м'язів, компресійних виробів [1, стор.257] і т. ін. На функціональні властивості таких виробів впливають як геометричні характеристики структури, зокрема, розмір та характер розташування міжниткових проміжків (пор), так і пружність полотна – тиск, що створює повільно на тіло людини. У роботі [2] застосовано структурний підхід до моделювання трикотажних переплетень з деталізацією на рівні ниток, зі збереженням топологічної відповідності структури та урахуванням пружних властивостей ниток, а також відтворення реалістичної динаміки деформацій готового трикотажного виробу. Однак для практичного застосування цієї моделі необхідно сформувати базу даних властивостей ниток та формалізований опис фізичних моделей їхньої взаємодії у різних комбінаціях елементів структури трикотажу. У процесі виготовлення текстильні матеріали проходять шлях від волокна до готового текстильного виробу та, відповідно до ланцюга технологічних перетворень, відбувається трансформація геометричних характеристик та фізичних властивостей. З метою розробки ефективних методик прогнозування властивостей трикотажних виробів з використанням тривимірних геометричних моделей їх структури в публікаціях останніх років [1, 2, 3, 4] підкреслюється необхідність забезпечення можливості поетапного проектування з використанням моделей різного рівня [1]. У контексті прогнозування композиційних матеріалів на текстильній основі розрізняють макро-, мезо- та мікрорівні ієрархії об'єктів моделювання [3], причому макрорівнем вважають рівень композиційного виробу, мезорівнем – рівень текстильного наповнювача, а мікрорівнем – рівень волокон. У роботах [5, 6] автори розкривають сучасні підходи до моделювання процесів фільтрації крізь текстильні матеріали різної структури. Актуальним завданням у сфері прогнозування властивостей текстильних фільтрувальних матеріалів буде створення спеціальних інструментів для швидкого відтворення їх дизайну та визначення граничних умов для оптимізації видалення твердих часточок із суспензії [1, стор.317]. Важливим показником ефективності методик моделювання є оптимальне співвідношення між часом, необхідним для моделювання, що залежить від складності моделі та точністю, якої потребує обрана реалізація алгоритму [1, стор.388].

Результати досліджень

Аналіз літературних джерел показує, що окремі теоретичні питання моделювання фізико-механічної поведінки трикотажу залишаються ще невирішеними, тому поки що не можна говорити про запровадження практики комп'ютерного моделювання фізико-механічної поведінки трикотажу в умовах виробництва. Завданням даної роботи є вивчення структури даних та знань у сфері моделювання й прогнозування властивостей трикотажу та встановлення оптимальних підходів до розробки методик прогнозування на концептуальному рівні. У результаті виконання даного етапу визначено гілки алгоритму, які раніше відносились до так званих відкладених рішень. Пошук способів вирішення та розширення сфери застосування відпрацьованих та готових до впровадження гілок алгоритму.

Загальна схема використання 3D моделей у процесі прогнозування характеристик трикотажу [7] показана на рис.1. Дані про параметри його структури надходять у систему моделювання, що дозволяє згенерувати у віртуальному середовищі тривимірну модель із заданою точністю. Далі, в інтегрованому програмному середовищі, модель імпортується у розрахунковий комплекс для моделювання процесів, що відбуваються в текстильному матеріалі у тих чи інших умовах.

Метою створення тривимірних геометричних моделей структури трикотажу є забезпечення можливості прогнозування показників якості трикотажної продукції

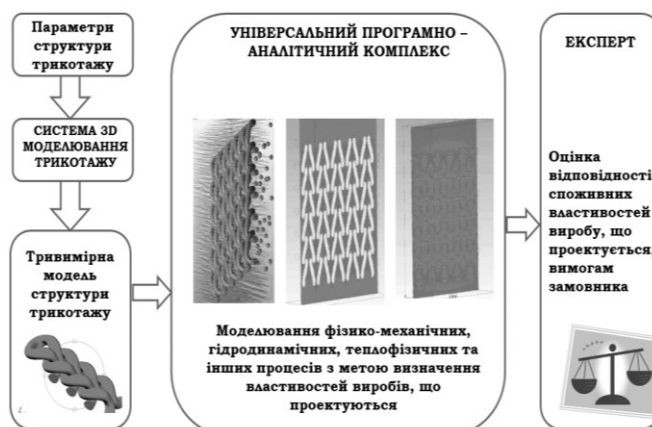


Рис. 1. Схема оцінки відповідності властивостей трикотажу технічним завданням з використанням 3D моделей його структури

Трикотажні полотна та вироби являють собою матеріали зі складною внутрішньою геометрією. Особливості розташування нитки в структурі трикотажу істотно впливають на фізико-механічні, гігієнічні

та інші властивості готового виробу. Тому успішне вирішення завдання аналізу властивостей трикотажу за допомогою тривимірних геометричних моделей його структури безпосередньо залежить від достовірності передачі в комп'ютерній моделі геометричних характеристик нитки. Споживні властивості готового трикотажного виробу послідовно формуються в процесі прядіння, крутки, апретування і т. ін. У свою чергу, властивості трикотажного полотна залежать не тільки від властивостей пряжі, але, й від виду переплетення, параметрів режиму в'язання, технології обробки. Іншими словами, властивості готового трикотажу значною мірою залежать від того, яку просторову конфігурацію приймає відрізок нитки, який до в'язання мав прямолінійну форму. Тому розробку систем автоматизованого проектування трикотажу, що передбачають тривимірне геометричне моделювання його структури, необхідно проводити із дотриманням певних принципів, що враховують особливості моделювання трикотажу як матеріального об'єкта. На підставі проведеного аналізу підходів до геометричного моделювання структури трикотажу нами запропоновані наступні принципи.

Принцип виробничої доцільності [7] полягає у тому, що у вихідних даних для моделювання слід використовувати довжину нитки у петлі, яка є регульованим параметром [8]. Залежно від цілей створення тривимірних моделей структури трикотажу можливе використання різних наборів вихідних даних. При цьому слід враховувати, що для цілого ряду віртуальних експериментів принциповим є збіг довжини центральної лінії нитки-моделі та довжини нитки в елементі структури реального трикотажу. Далі проведення різноманітних віртуальних експериментів може забезпечити підбір такого значення довжини нитки у петлі, при якому трикотаж буде проявляти необхідні споживні властивості. При цьому отримання трикотажу із заданою довжиною нитки у петлі легко забезпечується в умовах виробництва.

Принцип параметризації. За елемент структури приймається ділянка нитки, конфігурація якої може бути представлена просторовою кривою, що задана параметрично [7]. У цьому випадку особливості просторового розташування нитки на кожній окремо взятій ділянці належать до геометричних властивостей нитки на даній ділянці. Спочатку кожна ділянка нитки являє собою прямолінійний відрізок. У процесі в'язання і після нього в результаті взаємодії з петлетвірними органами машини, а також з іншими ділянками нитки дана ділянка набуває нових властивостей – вона певним чином зігнута і займає певну позицію у полотні. Крім того, слід взяти до уваги той факт, що використання тривимірної моделі забезпечує можливість моделювання деформацій. На початковому етапі розтягування трикотажного полотна його деформування відбувається шляхом перерозподілу нитки в елементах структури трикотажу. Тому дотримання даного принципу дозволяє використовувати математичну базу, розроблену для трикотажу у вільному стані, також для моделювання структури трикотажу в процесі деформації. З точки зору топології, позиція кожної ділянки в полотні щодо інших ділянок залишається незмінною. Вона визначається тим, в якому петельному ряді та якою голкою цю ділянку нитки було вв'язано в структуру трикотажу. А ось кривизна даної ділянки між точками контакту може змінюватися, як і відстані між точками контакту, залежно від стану трикотажу, властивостей ниток, їх взаємного розташування і зусиль розтягнення.

Однією з найважливіших характеристик трикотажу, що визначають його властивості, є переплетення трикотажу. При цьому рухливість структури, нерівномірність товщини ниток, а також безліч інших факторів, що впливають на характер розподілу волокнистої маси за площею і по товщині полотна, ускладнюють завдання теоретичного опису геометрії волокон і ниток в структурі трикотажу. Дослідження трикотажних полотен підтверджують, що саме від розмірних характеристик структурної одиниці, розподілу маси в площі й об'ємі та від її сировинного складу залежать всі основні фізико-механічні характеристики текстильного матеріалу. Таким чином, можна зробити висновок про те, що для формалізації даних про взаємне переплетення ниток повинна використовуватися спеціальна система кодування, яка дозволяє визначити адресацію точок контакту ниток і приналежність ниток, переплетених в певній точці, тій чи іншій системі. Модель, яка зображує топологію нитки в структурі трикотажу без урахування фізико-механічних властивостей сировини та геометричних характеристик окремих елементів, прийнято вважати топологічною моделлю.

Принцип декомпозиції процесу побудови моделі полягає у тому, що запис рівняння центральної лінії нитки у віртуальній моделі трикотажу слід проводити у два етапи [7]. На першому етапі будується топологічна модель. На другому етапі задається характер зміни кривизни осьової лінії нитки на кожній ділянці. Для вирішення деяких завдань проектування достатньо мати запис рівняння центральної лінії нитки на кожній її ділянці. Однак, сфера використання такої моделі не включає теплових, гідродинамічних і деяких інших видів розрахунків. Тому у випадку, коли мова йде про створення повнофункціональної тривимірної геометричної моделі структури трикотажу, необхідно враховувати закономірності зміни форми поперечного перерізу нитки на різних її ділянках у структурі трикотажу.

Принцип реалістичності. У тривимірній геометричній моделі структури трикотажу необхідно врахувати зміну форми поперечного перерізу нитки уздовж її центральної лінії [7]. У теорії геометричного моделювання структури кулірного трикотажу, викладеної проф. О.С. Далідовичем, приймалося припущення про те, що нитка має круглий поперечний переріз і її діаметр не змінюється вздовж осьової лінії нитки. Однак на сьогодні проблема побудови релевантних тривимірних моделей різних за структурою та властивостями ниток вимагає перегляду прийнятих раніше методів. За ступенем деталізації опису структури самої нитки, пров'язаної в трикотаж, існують різні підходи, від ідеалізації та подання форми поперечного

перерізу у вигляді кола до відтворення в комп'ютерній моделі комплексної нитки окремих елементарних ниток та навіть волокон. Тим часом ускладнення моделі призводить до значного збільшення обчислювального навантаження на комп'ютер і до збільшення часу побудови моделі. Тому *принцип раціонального використання інформаційних ресурсів* можна сформулювати наступним чином: у віртуальних моделях трикотажу репрезентативний об'єм нитки може бути представлений суцільним тілом, а внутрішня пористість сировини врахована у вигляді відповідних коефіцієнтів [7].

Вимоги до рівня деталізації тривимірної моделі структури трикотажу формуються відповідно до мети створення цієї моделі та сфери її майбутнього застосування. Для моделювання таких споживних характеристик як теплозахисні властивості, тиск одягу на тіло людини, розтяжність, пружність та деяких інших, доцільно використовувати моделі трикотажу, що не містять деталізації на рівні ниток (так звані поверхневі моделі). Під поверхневими моделями можна розуміти моделі трикотажу, що повторюють геометрію його поверхні без деталізації на рівні ниток. На рис. 2 наведено тривимірні моделі трикотажу переплетень ластик 1+1 (рис. 2 а) та ластик 2+2 (рис. 2 б) з деталізацією на рівні ниток та без такої деталізації.



Рис. 2. Моделі трикотажу переплетень ластик 1+1 (а) та ластик 2+2 (б)

У контексті розв'язання задачі моделювання процесу одновісної деформації трикотажу прийнято припущення про можливість моделювання деформацій розтягу трикотажу ластичних переплетень з використанням моделі саме макрорівня. У залежності від алгоритмів та мети моделювання фізичних процесів, трикотаж може бути представлений як оболонка певної товщини, що характеризується заданими показниками пористості, пружності, гігроскопічності, теплопровідності, жорсткості, драпіруемості та ін. У системах моделювання одягу тканина чи трикотаж подаються як текстильні оболонки. Для їх опису використовують математичний апарат, призначений для роботи з поверхнями з різною кривизною. Прийняте припущення дозволяє використовувати поверхневі моделі для моделювання одноосної деформації та значно скоротити час на перебудову моделей. На рис. 3 наведено зображення окремих дискретних станів під час поступової трансформації макромоделі трикотажу переплетення ластик 2+2 під дією розтягуючих зусиль, прикладених у напрямку петельних рядів.

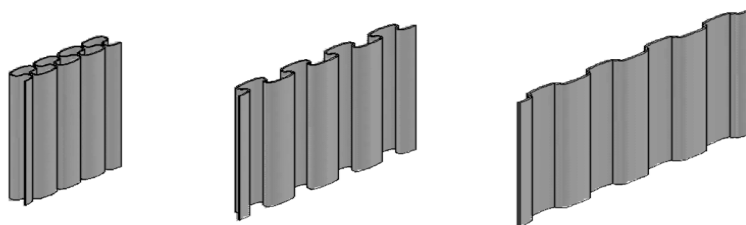


Рис. 3. Використання поверхневої моделі трикотажу переплетення ластик 2+2 для моделювання деформації розтягу вздовж петельних рядів

Висновки

У ході роботи досліджено вимоги, що висуваються до процесу проектування та тривимірного геометричного моделювання трикотажу з метою прогнозування властивостей полотен та виробів. Встановлено, що рівень деталізації моделі залежить від мети прогнозування, вихідних умов для проведення віртуальних та реальних експериментів, наявності розрахункових баз та алгоритмів, відомостей про попередню верифікацію моделей. Сформульовано принципи тривимірного геометричного моделювання структури трикотажу. Для дотримання принципу раціонального використання інформаційних ресурсів запропоновано використання алгоритму дворівневого проектування, коли у рамках одного дослідження можуть використовуватись як моделі мезорівня (перший етап), так і моделі макрорівня (другий етап).

Подяка. Робота виконувалась у рамках спільного українсько-литовського науково-дослідного проекту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім – PERPROKNIT)» за підтримки Міністерства освіти і науки України.

Література

1. Chen X (Eds). Modelling and predicting textile behavior. Woodhead Publishing Series in Textiles: No 94. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2010, 536 p.

2. Kaldor J., James D.L., and Marshner S. Simulating knitted cloth at the yarn level. Proceedings of SIGGRAPH 2008, Los Angeles, California, 2008.
3. Lomov S., Dufort L., Luca P.D., and Verpoest I. Meso-macro integration of modeling of stiffness of textile composites. Proceedings of 28th International Conference of SAMPE Europe, Porte de Versailles Expo, Paris, 2007, 4003-4008.
4. Lomov S., Gusakov A., Huysmans G., Prodromou A., and Verpoest I. Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites. *Composites Science and Technology*, 2000, Vol. 60 (11), pp. 2083–2095.
5. Nazarboland M.A., Chen X., Hearle J. W. S., Lydon R. and Moss M. Modelling and simulation of filtration through woven media. *Int J. Clothing Sci. Tech.*, 2008, Vol. 20(3), pp. 150–60.
6. Nazarboland M.A. Computer Simulation of Filtration Through Woven Fabrics, PhD Thesis, University of Manchester, 2008.
7. Автоматизоване проектування текстилю : [навч. посіб.] / [Т.В. Єліна, С.Ю. Боброва, Л.Є. Галавська, Т.А. Дзикович]. – Київ : Кафедра, 2017. – 280 с.
8. Труевцев А.В. Прикладная механика трикотажа : учебное пособие / А.В. Труевцев. – СПб : СПбГУТД, 2001. – 87 с.
9. House D., Breen D. Cloth Modelling and Animation. A K Peters, Natick, Massachusetts, 2000.
10. Loginov A., Grishanov S., Harwood R. Modelling the load-extension behavior of plain-knitted fabric. Part I: A unit-cell approach towards knitted-fabric mechanics. *Jornal of the Textile Institute*, 2002, Vol. 93 (Part 1, No. 3), P. 218–238.

References

1. Chen X (Eds). Modelling and predicting textile behavior. Woodhead Publishing Series in Textiles: No 94. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2010, 536 p.
2. Kaldor J., James D.L., and Marshner S. Simulating knitted cloth at the yarn level. Proceedings of SIGGRAPH 2008, Los Angeles, California, 2008.
3. Lomov S., Dufort L., Luca P.D., and Verpoest I. Meso-macro integration of modeling of stiffness of textile composites. Proceedings of 28th International Conference of SAMPE Europe, Porte de Versailles Expo, Paris, 2007, 4003-4008.
4. Lomov S., Gusakov A., Huysmans G., Prodromou A., and Verpoest I. Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites. *Composites Science and Technology*, 2000, Vol. 60 (11), pp. 2083–2095.
5. Nazarboland M.A., Chen X., Hearle J. W. S., Lydon R. and Moss M. Modelling and simulation of filtration through woven media. *Int J. Clothing Sci. Tech.*, 2008, Vol. 20(3), pp. 150–60.
6. Nazarboland M.A. Computer Simulation of Filtration Through Woven Fabrics, PhD Thesis, University of Manchester, 2008.
7. Avtomatyzovane proektuvannia tekstyliu : [navch. posib.] / [T.V. Yelina, S.Iu. Bobrova, L.Ie. Halavska, T.A. Dzykovych]. – Kyiv : Kafedra, 2017. – 280 s.
8. Truevcev A.V. Prikladnaya mehanika trikotazha : uchebnoe posobie / A.V. Truevcev. – SPb : SPbGUTD, 2001. – 87 s.
9. House D., Breen D. Cloth Modelling and Animation. A K Peters, Natick, Massachusetts, 2000.
10. Loginov A., Grishanov S., Harwood R. Modelling the load-extension behavior of plain-knitted fabric. Part I: A unit-cell approach towards knitted-fabric mechanics. *Jornal of the Textile Institute*, 2002, Vol. 93 (Part 1, No. 3), P. 218–238.

Надійшла / Paper received : 16.10.2020 Надрукована/Printed : 27.11.2020