

УДК 677.075

Т.В. Єліна, Л.Є. Галавська

Київський національний університет
технологій та дизайну**СИЛОВА ТРИВИМІРНА ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ**

Робота присвячена розробці тривимірної геометричної моделі кулірного трикотажу, що враховує поведінку ниток чи пряжі в структурі трикотажу в залежності від параметрів його структури. Ключові слова: кулірний трикотаж, метод геометричних моделей, проектування параметрів структури трикотажу.

Процес розробки трикотажного одягу функціонального призначення з наперед заданими властивостями передбачає здійснення розрахунків характеристик, які відповідають за комфортність виробу ще на етапі проектування трикотажу до моменту його вироблення на в'язальному обладнанні. Одними з найважливіших показників експлуатаційних властивостей трикотажу, що відповідають за комфортність виробу, є такі фізико-механічні характеристики як теплопровідність, повітропроникність, гігроскопічність та ін. Теоретичні розрахунки зазначених властивостей трикотажу передбачають математичне моделювання складних багатофакторних фізичних процесів, яке стало можливим завдяки розвитку сучасної фундаментальної науки та мікропроцесорної техніки. Бурхливий розвиток комп'ютерних технологій сприяє перенесенню наукових досліджень у віртуальну область. Існують програмні засоби, що дозволяють розраховувати й аналізувати фізичні та механічні властивості матеріалів. Для цих розрахунків необхідно мати формалізований опис досліджуваного об'єкта. У трикотажі – це петля, яка має складну просторову геометричну форму. Будову трикотажу того чи іншого переплетення визначають розміри, форма та взаємне розташування складових елементів його структури. З точки зору просторового розташування пряжі чи ниток в структурі трикотажу його можна віднести до найбільш складних текстильних матеріалів. Проф. А.І. Кобляковим [1] встановлено визначальний вплив структури трикотажу на його механічні властивості й залежність цих властивостей від довжини нитки в петлі. При проектуванні геометричних параметрів трикотажу і його властивостей у якості незалежного фактора багато науковців пропонують приймати довжину нитки в петлі. Це підтверджено в теоретичних розрахунках Е. Томкінса, Ф. Пірса, П. Дойля, Т. Наттінга й А. Ліфа, Д. Мандена, С. Вольфарта й Дж. Нептона, С. Де Жонга й Р. Постля, І.І. Шалова, І.Г. Цитовича, О.В. Труєвцева, О.Н. Якунічевої, В.Р. Крутикової, Т.І. Полякової, та ін.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом дослідження є процес вироблення трикотажу функціонального призначення з наперед заданими властивостями. У роботі використано методи аналізу, синтезу, наукового припущення та математичного моделювання.

Постановка завдання

Визначення взаємозв'язку між основними характеристиками структури трикотажу (довжина нитки в петлі ℓ , висота петельного ряду B , петельний крок A , середній діаметр нитки d_c , лінійна густина пряжі чи нитки T) є одним з найважливіших питань в теорії в'язання трикотажу. Для встановлення взаємозв'язку між параметрами структури трикотажу використовують різні методи. Найбільш розповсюдженими є метод геометричних моделей та емпіричний.

Метод геометричних моделей найбільш повно розроблений проф. А. С. Далідовичем. Його роботи з теорії переплетень і теорії в'язання, що базуються на застосуванні методу геометричних моделей, розкривають глибоке розуміння геометричної форми, розмірів і взаємозв'язку елементарних ланок структури трикотажу [1-3].

Широке використання як в нашій країні, так і за кордоном отримав й емпіричний метод визначення взаємозв'язку параметрів структури трикотажних полотен. Широко відомі емпіричні формули параметрів структури трикотажу С. І. Гусевої, Л. П. Ігнатової, Н. І. Малишевої, М. А. Алексеєвої та ін. Із зарубіжних авторів слід вказати на роботи Д. Мандена, Д. Кнаптона, С. Фріча, С. Фіттона, Д. Гопкінса та ін. [1, 4].

Емпіричний чи розрахунково-експериментальний підхід до проектування трикотажу був сформульований Д. Манденом і І.І. Шаловим. Виходячи з геометричної будови петель, І. І.

Шаловим у вигляді емпіричних формул встановлено залежності параметрів петельної структури в умовно-рівноважному стані і граничних величин параметрів петель деяких видів переплетень від довжини нитки у петлі та її товщини [2].

При використанні методу геометричних моделей складну форму петель трикотажу представляють геометричною моделлю, яка дозволяє полегшити процес вивчення й прогнозування властивостей трикотажу. Така модель із різним ступенем точності апроксимує дійсну форму петлі; нитка в геометричній моделі ідеалізується. Приймається, що на всіх ділянках петлі нитка має однакову товщину й деформаційні властивості. Теоретичний аналіз геометричних моделей трикотажу, незважаючи на їх умовність, дозволяє робити важливі практичні висновки щодо поведінки й властивостей трикотажу.

Результати та їх обговорення

На сьогоднішній день при прогнозуванні параметрів структури базових видів трикотажних переплетень найбільш поширеними є моделі А.С. Далідовича та І.І. Шалова у силу своєї простоти й достатньої точності. Однак при проектуванні нових переплетень або у разі в'язання трикотажу з нетрадиційних видів сировини необхідна залежність, що відповідає будь-якій конфігурації вигнутої нитки. В цьому контексті важливими є формалізація знань, та встановлення залежностей між вихідними даними для розрахунків, які легко отримати для нових видів сировини (жорсткість, зминальність, розтяжність, пружність волокна та нитки), та результатами розрахунку, якими є параметри структури та фізико-механічні, і в решті-решт, споживчі властивості товарів, що проектуються.

Використовуючи відомі уявлення про геометрію структури, представляється можливим створити методику одержання математичного опису петлі у тривимірному просторі з урахуванням розташування пряжі, максимально наближеного до реального для проведення наукових досліджень і інженерних розрахунків властивостей трикотажних полотен ще на стадії проектування. Зокрема, розрахунків пористості, повітропроникності та теплопровідності.

Вихідними даними для моделювання внутрішньої геометрії трикотажу є властивості волокон та пряжі (або нитки), показники жорсткості на згин та розтягнення, фрикційні властивості пряжі, а також топологія пряжі у рапорті переплетення.

Трикотажні нитки та пряжа [5], як і інші текстильні матеріали, складаються з окремих волокон, які не можуть заповнювати весь об'єм нитки. Тому, для теоретичних розрахунків прийнято використовувати поняття питомого об'єму нитки, який складається з об'єму волокна та об'єму повітря між волокнами в нитці. В свою чергу, нитка також не заповнює весь об'єм трикотажу, який складається з об'єму нитки та об'єму міжниткових проміжків. Тому для точності розрахунків тих показників трикотажу, які залежать від співвідношення об'єму матеріалу ниток та об'єму повітря, необхідно враховувати особливості розташування волокон в нитці і нитки в трикотажі.

Відомо, що для побудови математичної моделі об'єкту, деякі особливості об'єкта, що моделюється відкидаються, і складна задача зводиться до ідеалізованої, такої, що підлягає математичному аналізу і дає задовільні результати. Визнання особливостей об'єкта суттєвими або такими, що можуть бути відкинуті, відбувається в залежності від цілей створення та подальшого застосування математичної моделі. Так, наприклад, при використанні найбільш відомої в країнах пострадянського простору моделі петлі гладі проф. А.С. Далідовича виходять з того, що нитка в петлі нерозтяжна, пружна та має однаковий діаметр на всіх ділянках петлі. Однак для використання в системах віртуального прототипування з метою розробки та дослідження текстильних матеріалів з прогнозованими властивостями, необхідним є перегляд та уточнення характеристик, які повинні бути враховані в моделі виробу, що проектується.

Ключовими моментами створення силової моделі трикотажної петлі, придатної для використання в системах проектування трикотажу із прогнозованими властивостями є:

- створення адекватної моделі нитки з урахуванням таких фізико-механічних характеристик ниток як розтяжність, жорсткість на згин та кручення, зминальність, анізотропія тертя, розподіл маси по довжині нитки та зміна форми поперечного перерізу нитки на різних ділянках петлі, ворсистість, внутрішня пористість;

- опис просторової конфігурації нитки та урахування впливу на зміну форми розташування осьової лінії нитки таких показників як зминальність та розтяжність, а також характеру перерозподілу нитки в структурі полотна для різних його станів.

Найбільш прийнятними для дослідження переробки ниток [6] є моделі, що максимально повно описують їх поведінку за різними умовами силових навантажень. За допомогою цих моделей можуть бути представлені як мононитки, так і комплексні нитки та пряжа. Для

дослідження процесу розтягнення нитки найбільш широко застосовуються моделі Максвела, Кельвіна – Фойгта, Кукіна – Соловйова, які дозволяють моделювати фізико-механічні властивості реальних ниток. Для відтворення процесу змиальності нитки використовують модель у вигляді шківів із повзунком. [6]. Одним з важливих питань моделювання ниток та пряжі є питання достовірного відображення форми поперечного перерізу нитки. Форма перерізу мононитки визначається формою отворів філь'єр, через які продавлюється полімер. На форму комплексних ниток та пряжі впливають особливості розташування складових частин (волокон) всередині нитки, нерівноти, крутки.

Окремим питанням процесу створення силової моделі петлі є математичний опис конфігурації нитки. Відомі силові моделі петлі [4], запропоновані Ліфом, Постлем та Манденом, М. Макрорі, М. Конопасеком, та ін. мають ряд недоліків і не можуть бути використані в сучасних системах автоматизованого проектування та віртуального прототипування. У роботі [4] проф. А.В. Труєвцевим наводиться найбільш повна та послідовна методика розрахунку параметрів трикотажу в залежності від фізико-механічних властивостей сировини, зокрема, жорсткості нитки. Методика базується на застосуванні основних положень нелінійної теорії гнучких пружних стрижнів для опису просторового розташування окремих елементів та їх взаємодії в структурі трикотажу. Однак, дана модель також не може забезпечити точності розрахунків, необхідної для вирішення задачі проектування виробів із прогнозованими властивостями.

Традиційно, в теорії трикотажного виробництва основним елементом структури трикотажу прийнято вважати петлю. Однак петля є лише однією із форм, яку приймає відрізок нитки у процесі в'язання. Оскільки в структурі трикотажу форма відрізка нитки може бути не лише у вигляді традиційної петлі, але й бути криволінійним, чи прямолінійним, пропонується у якості елемента макроструктури трикотажу [7] прийняти саму нитку, а частину елемента (нитки), що неодноразово повторюється у вигляді петель або відрізків різної форми, назвати елементарною ланкою. Для створення універсальної моделі, придатної для опису будь-яких форм розташування нитки у трикотажі, необхідне встановлення однозначного взаємозв'язку між властивостями сировини, формою елементарних ланок, їх взаємним розташуванням, зв'язками між ними, з одного боку, та властивостями трикотажу – з іншого.

З точки зору геометрії в моделях, що використовувались раніше для здійснення теоретичних розрахунків, осьова лінія нитки була представлена або за допомогою дугових сегментів (моделі Ліфа-Глазкіна та Корлінського), або за допомогою дуг та відрізків (моделі Далідовича, Чемберлена, Пірса) [1, 4, 7]. Однак, для реалізації системного підходу до моделювання найрізноманітніших переплетень кулірного трикотажу, необхідно використовувати більш універсальні математичні об'єкти [8]. Найчастіше для опису кривих, що використовують в сучасних САД програмах застосовують рівняння третього порядку. Дві криві, описані такими рівняннями, можуть бути з'єднані таким чином, що їх другі похідні в точках з'єднання дорівнюватимуть одна одній. Це означає, що кривизна в цій точці залишиться постійною, що забезпечує плавність переходу. І дві таких кривих можуть здаватися одним цілим.

Розглянемо опис просторової конфігурації осьової лінії нитки на ділянці переплетення голкової дуги петлі даного петельного ряду із платинною дугою петлі наступного петельного ряду (рис. 1) за допомогою β -сплайна. Для відображення характеру зміни кривизни нитки по дуговій координаті на даному сегменті, необхідно знати координати п'яти визначальних точок P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 (рис. 2) у тривимірному просторі, алгоритм знаходження яких повинен базуватися на загальних положеннях нелінійної теорії гнучких пружних стрижнів та вихідних даних щодо будови трикотажного переплетення, що проектується, та фізико-механічних характеристик волокон та пряжі (нитки) [7, 9-11]. Для рівнянь третього порядку нам необхідно знайти функції спряження першого, другого та третього порядків.

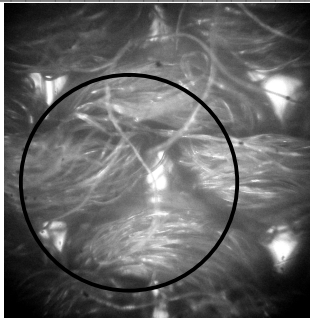


Рис 1. Макроструктура петлі

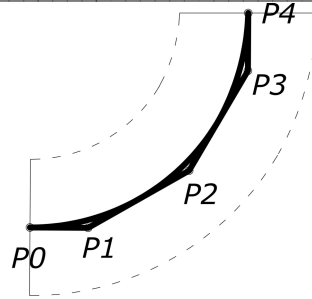


Рис. 2. Сегмент нитки на ділянці платинної дуги

Таким чином, рівняння β -сплайну для сегменту нитки, що розглядається у даному випадку, у розгорнутій поліноміальній формі має вигляд:

$$P(u) = (1-u)^2 N_{2,1} P_0 + \left\{ \left[u(1-u) + \frac{(2-u)u}{2} \right] N_{2,1} + \frac{(2-u)^2}{2} N_{3,1} \right\} P_1 +$$

$$\left\{ \frac{u^2}{2} N_{2,1} + \left[\frac{u(2-u)}{2} + \frac{(3-u)(u-1)}{2} \right] N_{3,1} + \frac{(3-u)^2}{2} N_{4,1} \right\} P_2 +$$

$$\left\{ \frac{(u-1)^2}{2} N_{3,1} + \left[\frac{(u-1)(3-u)}{2} + (3-u)(u-2) \right] N_{4,1} \right\} P_3 + (u-2)^2 N_{4,1} P_4$$

$$\text{де } N_{i,k}(u) = \frac{(u-t_i)N_{i,k-1}(u)}{t_{i+k-1}-t_i} + \frac{(t_{i+k}-u)N_{i+1,k-1}(u)}{t_{i+k}-t_{i+1}};$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & t_i \leq u \leq t_{i+1}; \\ 0 & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Значення t_i обмежують відрізки значень параметру u , всередині яких функції спряження мають ненульові значення. При розрахунках за наведеною вище формулою невизначеність 0/0 вважається рівною нулю.

Рівняння β -сплайну для інших сегментів нитки, що формують петлі, накиди та інші елементи структури трикотажу знаходяться аналогічним чином.

В ході аналітичних досліджень нами розроблено силову модель кулірного трикотажу, яка базується на використанні параметричного опису кривої третього порядку в якості основи для відтворення конфігурації нитки в структурі трикотажу, та на основних положеннях нелінійної механіки гнучких пружних стрижнів. За елементарну ланку в моделі приймається ділянка нитки, яка обмежена точками силової взаємодії із іншими ділянками нитки.

Висновки

1. Одними з найважливіших показників експлуатаційних властивостей трикотажу, що відповідають за комфортність виробу, є такі фізико-механічні характеристики як теплопровідність, повітропроникність, гігроскопічність та ін.
2. Сучасний рівень розвитку комп'ютерних технологій дозволяє говорити про можливість розробки та практичної реалізації методик розрахунку, що включають значне розрахункове навантаження та дозволяють проводити та аналізувати складні багатоваріантні розрахунки, зокрема, таких, що використовують тривимірне геометричне моделювання об'єктів, що проектуються.
3. Ключовими моментами створення силової моделі трикотажної петлі, придатної для використання в системах проектування трикотажу із прогнозованими властивостями є:
 - створення адекватної моделі нитки з урахуванням таких фізико-механічних характеристик ниток як розтяжність, жорсткість на згин та кручення, змиальність, анізотропія тертя, розподіл маси по довжині нитки та зміна форми поперечного перерізу нитки на різних ділянках петлі, ворсистість, внутрішня пористість;

- опис просторової конфігурації нитки та врахування впливу на зміну форми розташування осьової лінії нитки таких показників як зминальність та розтяжність, а також характеру перерозподілу нитки в структурі полотна для різних його станів.
4. Існує велика кількість геометричних моделей, що описують трикотажну петлю, однак всі вони мають обмеження при застосуванні та не можуть бути використані в системах віртуального прототипування, що створюються з метою розробки трикотажу із заданими властивостями.
1. Кобляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа. – М.: Легкая индустрия, 1973.
 2. Шалов И.И. Усадка трикотажа. – М.: Гизлегпром, 1958.
 3. Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин Л.А. Технология трикотажного производства. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984.
 4. Труевцев А.В. Теоретические основы проектирования параметров кулирного трикотажа и разработки технологических режимов его производства с учетом деформационных свойств нитей и полотен: Автореф. дис... докт. техн. наук. – С-Пб.: С-ПГУТД, 1998.
 5. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. – М.: МГТУ, 2000.
 6. Щербань В.Ю., Хомяк О.Н., Щербань Ю.Ю. Механика нити. – К.: КНУТД, 2002. – 196 с., ил.
 7. Труевцев А.В. Прикладная механика трикотажа: учебное пособие. – СПб.: СПГУТД, 2001.
 8. Кудрявин Л.А., Шустов Е.Ю., Шустов Ю.С. Разработка методов визуализации структуры трикотажа при его автоматизированном проектировании: монография. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2006.
 9. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. – М.: Наука, 1986.
 10. Светлицкий В.А. Механика гибких стержней и нитей. – М.: Машиностроение, 1978.
 11. Михайлов Л.Н. Исследования и методы определения жесткостей текстильных нитей при изгибе и кручении: Дис... канд. техн. наук – Л.: ЛИТЛП, 1981.