

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, В.Ю. КАЛАШНИК, О.З. КОЛИСКО, М.І. ШОЛУДЬКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ НИТКИ І АНІЗОТРОПІЇ ТЕРТЯ НА ЇЇ НАТЯГ І ФОРМУ ОСІ

В роботі наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень з визначення натягу нитки, яка взаємодіє з напрямною поверхнею з урахуванням анізотропії сили тертя. Під час проведення досліджень використовувалися напрямні поверхні, радіус кривини яких значно перевищував радіус нитки, плоскі напрямні. Отримані рівняння для визначення натягу нитки використовувалися для удосконалення технологічних процесів текстильної промисловості.

Ключові слова: нитка, напрямна поверхня, радіус кривини, натяг.

V.Y. SHERBAN, V.Y. KALASHNIK, O.Z. KOLISKO, M.I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

### RESEARCH OF INFLUENCE OF MATERIAL OF FILAMENT AND ANISOTROPY OF FRICTION ON ITS PULL AND FORM OF AX

*Abstract - Across-the-grain sliding of threads on directing with constant curvature of a surface takes place at forming of an element of a fabric, at interaction of threads with directing organs of knitted and textile cars. Determination of a tension and the axis form, taking into account a material and anisotropy of friction properties of threads, allows to select their optimum parameters on the incipient period of designing of technological processes. Thus, the theme of given article is actual which has great value for improvement of technological processes textile and a knitting industry.*

*Task statement. On the basis of numerical integration of the differential equations and approximation of results to receive dependences for determination of a tension of threads in a working zone taking into account anisotropy of friction properties of the last and their material and to receive dependences for determination of the form of an axis of a thread.*

*Theoretical researches of process of interaction of threads with directing at across-the-grain sliding taking into account a material and anisotropy of friction properties of a thread have allowed to define the form of its axis and its tension in any point. It will allow to improve process of its reprocessing on the process equipment textile and a knitting industry.*

*For all threads the greatest tension will be had by threads with anisotropic friction properties. The real tension, on the average, at anisotropic threads in comparison with isotropic will be more on 20-30 %.*

*Keywords: filament, sending surface, radius of curvature, pull.*

### Вступ

Поперечне ковзання ниток зустрічається в багатьох технологічних процесах текстильної і трикотажної промисловості.

Поперечне ковзання ниток по напрямних з постійною кривиною поверхні має місце при формуванні елемента тканини, при взаємодії ниток з напрямними органами трикотажних та текстильних машин. Визначення натягу та форми вісі, з урахуванням матеріалу та анізотропії фрикційних властивостей ниток, дозволяє на початковому періоді проектування технологічних процесів обрати їх оптимальні параметри. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та трикотажної промисловості.

Об'єкти та методи дослідження. Удосконалення технологічних процесів легкої та текстильної промисловості, як об'єктів дослідження, повинно базуватися на комплексних дослідженнях процесу взаємодії ниток з напрямними поверхнями малої кривини [1, 2]. Отримання теоретичних залежностей дозволить отримати рівняння для визначення натягу та форми вісі нитки з урахуванням матеріалу та анізотропії її фрикційних властивостей в зоні формування тканини та трикотажу, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість готової продукції [2].

### Постановка завдання

На основі чисельного інтегрування диференційних рівнянь та апроксимації результатів отримати залежності для визначення натягу ниток в робочій зоні з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей останніх та їх матеріалу та отримати залежності для визначення форми вісі нитки.

### Основна частина

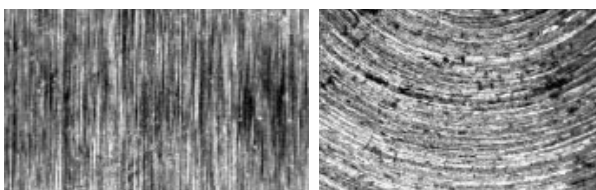


Рис. 1. Будова поверхні робочих органів

Будова поверхонь робочих органів трикотажних і текстильних машин (рис. 1), а також самих ниток (рис. 2) свідчать про те, що величина сили тертя в ортогональних напрямках (наприклад дотичній і нормалі до точки на осі нитки) відрізнятимуться. Це дозволяє говорити про необхідність врахування анізотропії фрикційних властивостей. У загальному випадку величина сили

тертя визначається з виразу [3]

$$F = N \sqrt{k_1^2 + k_2^2}, \quad (1)$$

де  $F$  – сила тертя;  $N$  – сила нормального тиску;  $\sqrt{k_1^2 + k_2^2}$  – ефективний коефіцієнт тертя [2]. Для розкриття його суті представимо силу тертя як функцію швидкості

$$\vec{F} = -\frac{NA\vec{v}}{v}, \quad (2)$$

де  $A$  – матриця, задаюча лінійне переміщення;  $v$  – швидкість точки на осі нитки. Для двох ортогональних напрямів (дотична і нормаль) вираз для даної матриці матиме вигляд

$$A = \begin{pmatrix} \mu_1 \cos \varphi & 0 \\ 0 & \mu_2 \sin \varphi \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $\mu_1, \mu_2$  – коефіцієнти тертя нитки в двох ортогональних напрямках;  $\varphi$  – кут, який утворює вектор швидкості з дотичної до осі нитки. Тоді ефективний коефіцієнт тертя визначимо по формулі

$$\sqrt{k_1^2 + k_2^2} = \sqrt{\mu_1^2 \cos^2 \varphi + \mu_2^2 \sin^2 \varphi}. \quad (4)$$

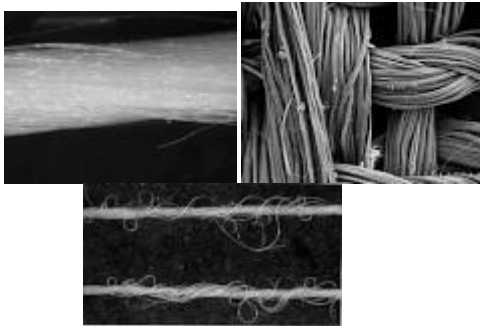


Рис. 2. Будова комплексних ниток та пряжі

Для теоретичного дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на натяг і форму її осі були вибрані віскозна комплексна нитка 16,7 Текс, капронова комплексна нитка 31,2 Текс, бавовняна гребінна кручена пряжа 23,6 Текс, шерстяна гребінна кручена пряжа 36 Текс.

Вибір даного асортименту, в першу чергу, пояснюється приблизно однаковим тексом ниток. Крім того, даний вид сировини широко використовується для виготовлення текстильних і трикотажних виробів. За наслідками експериментальних досліджень коефіцієнти тертя в подовжньому і поперечному напрямках для даного виду сировини відповідно дорівнювали: віскозна комплексна нитка  $\mu_1 = 0,16, \mu_2 = 0,21$ ; капронова

комплексна нитка  $\mu_1 = 0,18, \mu_2 = 0,24$ ; бавовняна гребінна кручена пряжа  $\mu_1 = 0,17, \mu_2 = 0,22$ ; шерстяна гребінна кручена пряжа  $\mu_1 = 0,14, \mu_2 = 0,18$ .

У роботі [3] було отримано диференціальне рівняння (5), яке представляє диференціальне рівняння другого порядку і визначає собою форму осі нитки при поперечному ковзанні з урахуванням анізотропії тертя

$$\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{2\mu_2 - 1} \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{\mu_2 \mu_0^2 g}{P_0}. \quad (5)$$

де  $x, y$  – координати точки М, м;  $\mu_0$  – лінійна щільність нитки до розтягнення, кг/м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $P_0$  – натяг нитки в точці М [1].

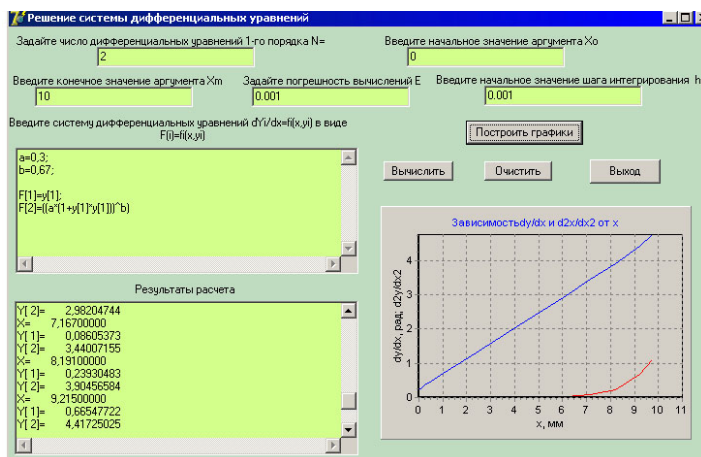


Рис. 3. Головна форма програми

Виконуючи стандартну процедуру пониження ступеня диференціального рівняння прийдемо до системи диференціальних рівнянь першого порядку. Для вирішення даної системи диференціальних рівнянь використовуватимемо метод Рунге-кутта-мерсона з автоматичною зміною кроку інтегрування. Даний метод забезпечує наближену оцінку погрішності на кожному кроці інтегрування.

На рис. 3 показана головна форма програми для визначення значення першої та другої похідної після чисельного інтегрування диференційного рівняння (5).

За наслідками розрахунків отримали наступні дані: віскозна комплексна нитка 16,7 Текс (таблиця 1), капронова комплексна нитка 31,2 Текс (таблиця 2), бавовняна гребінна кручена пряжа 23,6 Текс (таблиця 3), шерстяна гребінна кручена пряжа 36 Текс (таблиця 4).

Таблиця 1

Визначення  $y', y''$  для віскозної комплексної нитки 16,7 Текс

x, мм	Ізотропна		Анізотропна	
	$y'$	$y''$	$y'$	$y''$
0	0	0,21	0	0,21
0,003	0,00004012	0,2113	0,00006018	0,2111
0,015	0,00004060	0,2168	0,00006091	0,2126
0,063	0,00004260	0,2388	0,00006390	0,2217
0,255	0,00005162	0,3268	0,00007743	0,2582
1,023	0,00011126	0,6787	0,00016688	0,4041
4,095	0,00233898	2,0865	0,00350848	0,9878
8,191	0,13368191	3,9656	0,57040904	3,3274
10,239	1,03379897	5,0121	1,58805110	4,3543

Таблиця 2

Визначення  $y', y''$  для капронової комплексної нитки 31,2 Текс

x, мм	Ізотропна		Анізотропна	
	$y'$	$y''$	$y'$	$y''$
0	0	0,24	0	0,24
0,003	0,00006018	0,2414	0,00008056	0,2428
0,015	0,00006091	0,2473	0,00008252	0,2526
0,063	0,00006390	0,2708	0,00009083	0,2916
0,255	0,00007743	0,3649	0,00013336	0,4479
1,023	0,00016688	0,7411	0,00061878	1,0730
4,095	0,00350848	2,2461	0,03536551	2,7400
7,167	0,07376034	3,7517	0,27349123	3,5828
10,239	1,58623722	5,5068	2,11740146	4,8642

Таблиця 3

Визначення  $y', y''$  для бавовняної гребінної крученої пряжі 23,6 Текс

x, мм	Ізотропна		Анізотропна	
	$y'$	$y''$	$y'$	$y''$
0	0	0,22	0	0,22
0,003	0,00005035	0,2232	0,00007049	0,2228
0,015	0,00005157	0,2345	0,00007220	0,2324
0,063	0,00005677	0,2795	0,00007948	0,2711
0,255	0,00008335	0,4596	0,00011669	0,4260
1,023	0,00038674	1,1801	0,00054143	1,0452
4,095	0,02210344	3,1013	0,03094482	2,6965
7,167	0,17093202	4,0653	0,23930483	3,5290
10,239	1,32186435	5,1975	1,85272628	4,6855

Таблиця 4

Визначення  $y', y''$  для шерстяної гребінної крученої пряжі 36 Текс

x, мм	Ізотропна		Анізотропна	
	$y'$	$y''$	$y'$	$y''$
0	0	0,18	0	0,18
0,007	0,00002014	0,1829	0,00004028	0,1824
0,031	0,00002130	0,1931	0,00004126	0,1908
0,127	0,00002581	0,2338	0,00004542	0,2246
0,511	0,00005563	0,3967	0,00011126	0,3595
2,047	0,00116949	1,0484	0,00233898	0,8991
6,143	0,06684095	2,7862	0,13368191	2,3382
9,215	0,18587645	4,0932	0,37175290	3,4322
10,239	0,51689948	4,5515	1,03379897	3,8826

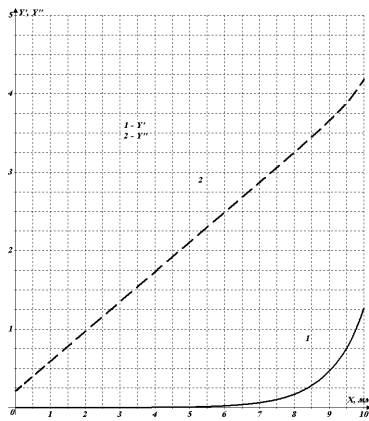


Рис. 4. Графічні залежності  $y'$ ,  $y''$  для анізотропної віскозної комплексної нитки 16,7 Текс

Отримані дані таблиць 1-4 апроксимувалися за допомогою спеціального розробленого програмного забезпечення. На рис. 4 представлені графічні залежності зміни  $y'$ ,  $y''$  у залежності ось  $x$  для анізотропної віскозної комплексної нитки 16,7 Текс

$$y' = 0,03x^2 - 0,18x + 0,04, \tag{6}$$

$$y'' = 0,004x^2 + 0,35x + 0,22.$$

Для визначення натягу ниток необхідно підставити дані таблиць 1–4 у формулу (7). Результати розрахунку представлені на рис. 5. Аналіз отриманих графічних залежностей показав, що для всіх ниток найбільший натяг матимуть нитки з анізотропними фрикційними властивостями. Реальний натяг, в середньому, у анізотропних ниток в порівнянні з ізотропними буде більше на 20–30%. Таким чином, отримані раніше результати давали занижене значення натягу, що при розрахунках могло привести до значної похибки.

$$P = P_0 \left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{\mu_1}{2\mu_2}}. \tag{7}$$

**Висновки**

Теоретичні дослідження процесу взаємодії ниток з напрямними при поперечному ковзанні з урахуванням матеріалу та анізотропії фрикційних властивостей нитки дозволили визначити форму її осі та її натяг в довільній точці, що дозволить удосконалити процес її переробки на технологічному устаткуванні текстильної та трикотажної промисловості.

Для всіх ниток найбільший натяг матимуть нитки з анізотропними фрикційними властивостями. Реальний натяг, в середньому, у анізотропних ниток в порівнянні з ізотропними буде більше на 2–30%.

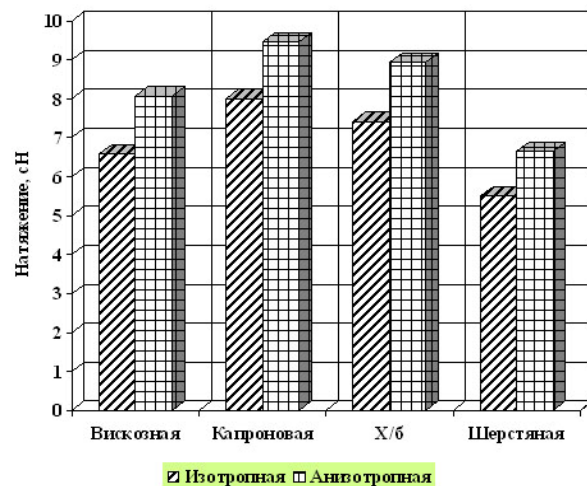


Рис. 5. Графічні залежності натягу ниток залежно від анізотропії фрикційних властивостей

**Література**

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.
2. Щербань В.Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности / В.Ю. Щербань, О.И. Волков, Ю.Ю. Щербань. – К. : КНУТД, 2003. – 588 с.
3. Калашник В.Ю. Исследование поперечного скольжения нити по направляющей поверхности малой кривизны с учетом анизотропии трения / В.Ю. Калашник, В.Ю. Щербань // Вісник ХНУ. – 2013. – № 1. – С. 57–60.

**References**

1. Scherban V.Yu. Mechanics of filaments/V.Yu.Sherban, O.N.Khomyak, Yu.Yu.Sherban. -K.:Library of official editions, 2002.- 196 с.
2. Scherban V.Yu. The Mathematical models in CADD of equipment and technological processes easy and textile to industry/V.Yu.Sherban, O.I.Volkov, Yu.Yu.Sherban. – K.:KNU TD, 2003. – 588 с.
3. Kalashnik V.Yu. Research of the transversal sliding of filament on the sending surface of small curvature taking into account the anisotropy of friction/V.Yu.Kalashnik, V.Yu.Sherban//Announcer HNU.-2013.-№1.-S.57-60.

Рецензія/Peer review : 3.4.2015 р. Надрукована/Printed :15.4.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., професор В.Г. Здоренко