

**Висновок.** На основі методики, розглянутої в роботі, було складено алгоритм і комп'ютерну програму в системі Mathcad, яка дозволила виконати аналітичне дослідження кінематики шестиланкового механізму III класу, побудувати діаграми кутових переміщень, аналогів швидкостей та прискорень всіх його ланок (рис. 2). Використання при проведенні розрахунків початкових значень положень ланок механізму дозволило однозначно знайти їх в усіх положеннях кривошипа. Для знаходження аналогів швидкостей і прискорень, з метою уникнення аналізу виду складання механізму, або визначення їх початкових значень, використано чисельне диференціювання переміщень відповідних ланок.

### Література

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
2. Бертяев В.Д. Теоретическая механика на базе Mathcad – СПб.:БХВ – Петербург: 2005. – 762 с.
3. Дьяконов В. Mathcad 2000: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.
4. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. – К.: Наукова думка, 2002. – 660 с.
5. Кіницький Я.Т., Харжевський В.О. Аналітичні методи аналізу та синтезу механізмів. – Хмельницький: ХНУ, 2006 – 88 с.
6. Кіницький Я.Т. Збірник задач і тестів із теорії механізмів і машин. – Львів: Афіша, 2008 – 228 с.
7. Мацюк И.Н., Третьяков В.М., Шляхов Э.М. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов высоких классов в программе Mathcad. Сб. «Теория механизмов и машин», №1, том 10, 2012. – С 65-70.
8. Мохнатюк А.І. Синтез кулачкових механізмів на ЕОМ. – К.: НМК ВО, 1992. – 188 с.
9. Розрахунок важільних і кулачкових механізмів за допомогою ПЕОМ/ Златопольський Ф.Й. та ін. – Кіровоград: КОД, 2000. 147 с.

### References

1. Artobolevsky I. Theory of mechanisms and machines. – Moscow: Nauka, 1988. – 640 p.
2. Bertyaev V.D. Theoretical mechanics using Mathcad. – St. P.: BHV, 2005. – 762 p.
3. Dyakonov V. Mathcad 2000: training course. – St.P.: 2001. – 592 p.
4. Kinytskyi Ya.T. Theory of mechanisms and machines. – Kyiv: Naukova Dumka, 2002. – 660 p.
5. Kinytskyi Ya.T., Kharzhevskiy V.O. Analytical methods of analysis and synthesis of mechanisms. – Khmelnytskyi: KhNU, 2006 – 88 p.
6. Kinytskyi Ya. T. Problems and tests on theory of mechanisms and machines. – Lviv: Afisha, 2008 – 2008 p.
7. Matsiuk I.N., Tretiakov V.M., Shlyahov E.M. Kinematical analysis of high classes planar linkage mechanisms using Mathcad.: “Theory of mechanisms and machines”, #1, vol.10, 2012. – pp. 65-70.
8. Mohnatiuk A.I. Synthesis of cam mechanisms using PCs. – Kyiv: NMK VO, 1992. – 188 p.
9. Synthesis of linkage and cam mechanisms using PCs / Zlatopolskiy F.I. and others. – Kirovograd, KOD, 2000. – 147 p.

Рецензія/Peer review : 24.9.2013 р. Надрукована/Printed :21.11.2013 р.  
Статтю представляє: Кіницький Я.Т., д.т.н., проф.

УДК 677.017

М.І. КОЛИСКО, В.Ю. ЩЕРБАНЬ  
Київський національний університет технологій та дизайну

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЗМИНАННЯ ТА ЖОРСТКОСТІ НА ЗГИН НА НАТЯГ НИТКИ ПРИ ЇЇ ВЗАЄМОДІЇ З ЦИЛІНДРИЧНОЮ НАПРЯМНОЮ

*Теоретичні дослідження процесу взаємодії ниток з циліндричними нитконапрямними з урахуванням зминання, жорсткості на згин та нелінійної залежності сили та коефіцієнту тертя ставлять перед собою мету визначення натягу ниток в довільній точці, що дозволить удосконалити процес їх переробки на технологічному устаткуванні.*

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

M.I. KOLISKO, V.YJ. SHERBAN  
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

## DETERMINATION OF INFLUENCE OF BENDING AND INFLEXIBILITY ON BEND ON TENSION OF FILAMENT AT ITS COOPERATING WITH CYLINDER SENDING

*Abstract - Theoretical researches of process of cooperation of filaments with cylinder sending filaments taking into account crumpling, inflexibility on a bend and nonlinear dependence of force and it is put the coefficient of friction before itself sweep determination of pulls of filaments.*

*On the basis of integration of the system of differential equalizations dependences of pulls of filament are got, taking into account crumpling in the area of contact, inflexibility on a bend and nonlinear dependence of force and to the coefficient of friction, from the radius of curvature of the cylinder sending, previous pulls and corner with which a filament engulfs sending.*

*Determination of pulls of filament at its cooperating with the cylinder sending taking into account nonlinear dependence of force and to the coefficient of friction from the radius of curvature of the cylinder sending, previous pulls and corner with which a filament engulfs sending will allow to perfect the process of its processing on the technological equipment of textile and knitting industry.*

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

Взаємодія ниток з циліндричними напрямними поверхнями зустрічається в багатьох технологічних процесах текстильної і трикотажної промисловості. В більшості випадків має місце взаємодія нитки з циліндричною напрямною великої кривини. Такий вид взаємодії вимагає, при виводі основних рівнянь, враховувати змінання та жорсткість нитки на згин. Урахування реальних фізико-механічних показників властивостей нитки дозволить отримати рівняння для визначення натягу та форми осі, які можна використовувати при удосконаленні технологічних процесів [1, 2, 4].

#### Постановка завдання

Отримання теоретичних залежностей дозволить скласти рівняння для визначення натягу нитки в зоні формування тканини та трикотажу, зменшити відсоток обривів ниток, поліпшити якість готової продукції [1, 2]. В багатьох дослідженнях не враховуються реальні фізико-механічні властивості та нелінійна залежність сили та коефіцієнту тертя при отриманні остаточних рівнянь [3, 4]. Все це призводить до значних розбіжностей між теоретичними та експериментальними залежностями, що не дозволяє використовувати перші при конкретних розрахунках.

На основі інтегрування системи диференціальних рівнянь отримати залежності натягу нитки, з урахуванням змінання в зоні контакту, жорсткості на згин та нелінійної залежності сили та коефіцієнту тертя, від радіусу кривини циліндричної напрямної, попереднього натягу та кута, з яким нитка охоплює напрямну.

#### Основна частина

На рис. 1 показана загальна розрахункова схема. Нитка огинає циліндричну напрямну радіусу  $R$ . Вхідний натяг нитки дорівнює  $P_0$ , а вихідний натяг нитки дорівнює  $P$ . Кут охоплення ниткою циліндричної напрямної дорівнює  $\varphi = \varphi_P + \varphi_{cm1} + \varphi_{cm2} - \varphi_{уж1} - \varphi_{уж2}$ , де  $\varphi_P$  – кут охоплення ниткою напрямної без урахування змінання та жорсткості на згин (на рис. 1  $\varphi_P = \pi$ );  $\varphi_{cm1}, \varphi_{cm2}$  – кути, на які збільшується кут  $\varphi_P$  за рахунок деформації змінання в зоні контакту нитки з напрямною;  $\varphi_{уж1}, \varphi_{уж2}$  – кути, на які зменшується кут  $\varphi_P$  за рахунок наявності жорсткості нитки на згин.

Пошук взаємозв'язку між натягом ведучої  $P$  та веденої  $P_0$  гілки нитки необхідно починати з встановлення залежності між натягом  $P_0$  та натягом в точці  $P_A$  та натягом  $P$  та натягом в точці  $P_B$ . На цих ділянках вільні гілки нитки підкорюються законам пружних на згин одновимірних об'єктів. Зв'язок між натягами в цих точках має вигляд

$$P_A = P_0 \left[ 1 - \frac{\left( \frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^w d_i^4 \right)^{(1+u_1 K^{u_2})}}{2P_0 [R + r(1 - \delta_0)]^2} \right], P_B = P \left[ 1 - \frac{\left( \frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^w d_i^4 \right)^{(1+u_1 K^{u_2})}}{2P [R + r(1 - \delta)]^2} \right], \quad (1)$$

де  $\left( \frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^w d_i^4 \right)^{j(K)}$  – коефіцієнт жорсткості нитки на згин;

$E$  – модуль пружності нитки на розтягнення;

$d_i$  – діаметри окремого елементарного волокна (філаменту), з яких складається комплексна нитка чи пряжа;

$w$  – кількість філаментів, з яких складається пряжа;

$j(K) = 1 + u_1 K^{u_2}$ , – коефіцієнт, який залежить від крутки  $K$  нитки;

$\delta, \delta_0$  – відносна деформація перетину нитки в точках її сходу та входу на напрямну;  $u_1, u_2$  – деякі постійні коефіцієнти.

При  $K \rightarrow 0$   $j(K) \rightarrow 1$  при  $K \rightarrow K_{kp}$ ,  $j(K) \rightarrow j(K_{kp})$ , де  $K_{kp}$  – критичне значення крутки. В

останньому випадку коефіцієнт жорсткості нитки на згин буде визначатися як у мононитки,  $B = EI = \frac{E\pi d^4}{64}$ , де

$d = 2r$  – розрахунковий діаметр нитки.

Перейдемо для визначення взаємозв'язку між натягом нитки у точка  $A$  та  $B$ .

Система диференціальних рівнянь, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки  $ds = (R + r)d\varphi$  ( $s$  – дугова координата) має вигляд [1–2]

$$\frac{dP}{ds} = F_{mp}, \quad \frac{P}{[R + r(1 - \delta)]} = N, \quad N = bE_1\delta, \quad (2)$$

де  $P$  – натяг нитки;  
 $F_{mp}$  – сила тертя, яка діє на нескінченно малий елемент нитки;  
 $N$  – питома нормальна реакція напрямної поверхні;  
 $s$  – дугова координата;  
 $b$  – ширина сліду контакту нитки з напрямною поверхнею;  
 $E_1$  – модуль пружності нитки при стисканні [1].

Дослідження, проведені в цьому напрямку [1, 3, 4], свідчать про те, що сила та коефіцієнт тертя нелінійно залежать від попереднього натягу, кута охоплення ниткою напрямної, діаметру циліндричної напрямної [1, 3, 4].

Виходячи з цього силу тертя  $F_{mp}$  та коефіцієнт тертя  $f$  можна представити наступними залежностями

$$F_{mp} = fN^n, \quad (3)$$

$$f = \frac{a}{b\varphi^{n_1}},$$

де  $n, a, b, n_1$  – деякі константи, значення яких залежить від виду матеріалів нитки та напрямної та умов взаємодії між ними. Інтегруючи систему (2), з урахуванням (3), отримаємо

$$(\delta)^{1-n} = (\delta_0)^{1-n} + \frac{(1-n)a(bE_1)^{n-1}}{b(1-n_1)} \varphi^{1-n_1}. \quad (4)$$

Перейдемо до аналізу рівняння (4). Використовуючи правило Лопітала, з урахуванням (1)–(2), будемо мати

$$P = P_0 \left[ 1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_0)]} (e^{f\varphi} - 1) \right] + \frac{\left( \frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^w d_i^4 \right)^{(1+u_1 K^{u_2})}}{2[R+r(1-\delta)]^2} - \frac{\left( \frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^w d_i^4 \right)^{(1+u_1 K^{u_2})}}{2[R+r(1-\delta_0)]^2} \times \left[ 1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_0)]} (e^{f\varphi} - 1) \right]. \quad (5)$$

Кут  $\varphi = \varphi_P + \varphi_{cm1} + \varphi_{cm2} - \varphi_{уж1} - \varphi_{уж2}$ , можна розрахувати з використанням формул [1, 2]

$$\varphi_{cm1} = \arccos \left[ 1 - \delta_0 \left( \frac{2r}{R} \right)^2 \right], \quad \varphi_{cm2} = \arccos \left[ 1 - \delta \left( \frac{2r}{R} \right)^2 \right], \quad (6)$$

$$\varphi_{уж1} = \arccos \left[ 1 - \frac{B}{2P_0(R+r)^2} \right], \quad \varphi_{уж2} = \arccos \left[ 1 - \frac{B}{2P(R+r)^2} \right].$$

При  $K \rightarrow 0$   $j(K) \rightarrow 1$  при  $K \rightarrow K_{kp}$ ,  $j(K) \rightarrow j(K_{kp})$ , де  $K_{kp}$  – критичне значення крутки. Тоді рівняння (5), з урахуванням (6), прийме вигляд

$$P = P_0 \left[ 1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_0)]} (e^{f\varphi} - 1) \right] + \frac{B}{2[R+r(1-\delta)]^2} - \frac{B}{2[R+r(1-\delta_0)]^2} \left[ 1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_0)]} (e^{f\varphi} - 1) \right]. \quad (7)$$

Рівняння (7) необхідно вирішувати з використанням систем (6). Отримана система рівнянь представляє трансцендентне рівняння  $f(P) = 0$  відносно  $P$ . Для його вирішення використовувалися чисельні методи з застосуванням метода дихотомії. Для цього було розроблено спеціальне програмне забезпечення.

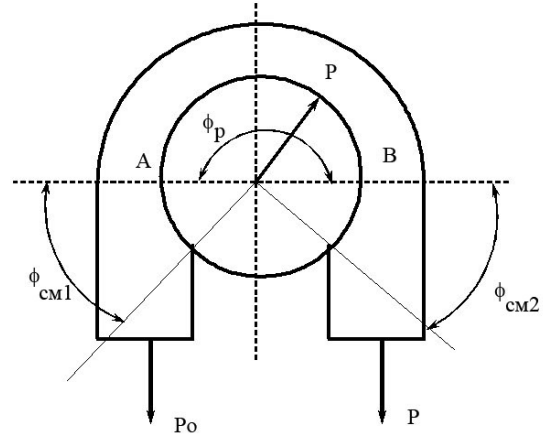


Рис. 1. Загальна розрахункова схема

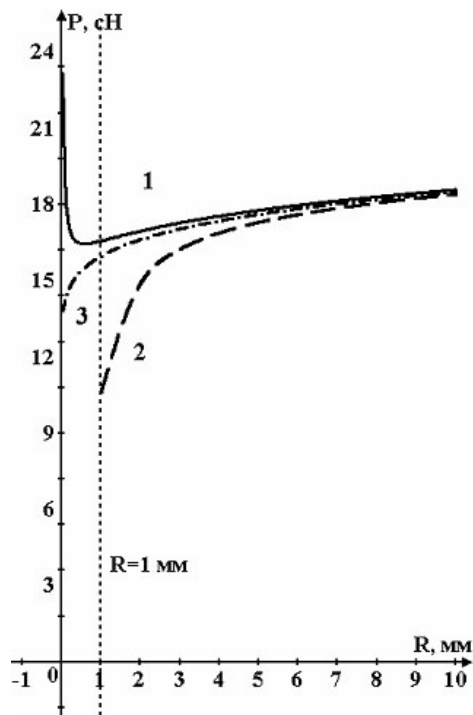


Рис. 2. Залежності натягу  $P$  ведучої гілки нитки від радіусу циліндричної напрямної

На рис. 2 представлені графічні залежності натягу ведучої гілки нитки  $P$  для: капронова мононитка 36 Т (2 крива),  $B=21,9$  сН·мм<sup>2</sup>,  $P_0=10$  сН,  $r=0,1$  мм,  $R=0,5\dots 10$  мм,  $\varphi_p=3,14$  рад,  $n=0,85$ ; капронова комплексна нитка 28 Т (1 крива),  $B=0,22$  сН·мм<sup>2</sup>,  $P_0=10$  сН,  $r=0,1$  мм,  $R=0,5\dots 10$  мм,  $\varphi_p=3,14$  рад,  $n=0,85$ . Крива 3, яка є асимптотою для залежностей 1 та 2, побудована за формулою Л.Ейлера без урахування жорсткості нитки на згин та зминання.

Для більшості напрямних поверхонь технологічного обладнання текстильної та трикотажної промисловості, коли радіус перетину нитки співрозмірний з радіусом кривини циліндричної напрямної, необхідно враховувати як структуру нитки, так і її реальні фізико-механічні характеристики.

### Висновки

Теоретичні дослідження процесу взаємодії ниток з циліндричними напрямними з урахуванням нелінійної залежності сили та коефіцієнту тертя дозволяють визначити натяг нитки з урахуванням її реальних фізико-механічних властивостей, що дозволить удосконалити процес їх переробки на технологічному устаткуванні текстильної та трикотажної промисловості.

### 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.:Бумсервис, 2003. – 588 с.
3. Мортон В.Е. Механические свойства текстильных волокон/В.Е. Мортон, Д.В.С. Херл. - М.:Легкая индустрия, 1971. – с.182.
4. Хвальковский Н.В. Трение текстильных нитей/Н.В. Хвальковский. – М.:ЦИНТИЛП, 1966. – 73 с.

### References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of filaments/V.Yu.Sherban, O.N.Khomyak, Yu.Yu.Sherban. -K.:Library of official editions, 2002.- 196 c.[in Ukrainian]
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.:KNUTD, 2003. – 588 c. [in Ukrainian]
3. Morton v.E. Mechanical properties of textile fibres/B.E. Morton, D.V.S. Kherl. - M.:Easy industry, 1971. – 182 c. [in Russian]
4. Khvalkovskiy N.V. Friction of textile filaments/N.V. Khvalkovskiy.-M.:CINTILP, 1966. – 73 c.[in Russian]

Рецензія/Peer review : 23.8.2013 р. Надрукована/Printed :21.11.2013 р.  
Рецензент: В.Г.Здоренко, д.т.н., професор кафедри АКС КНУТД