

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, М.І. ШОЛУДЬКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## ВИЗНАЧЕННЯ НАТЯГУ НИТКИ ПІД ЧАС ЇЇ ВЗАЄМОДІЇ З ТРУБЧАСТИМИ СПРЯМОВУВАЧАМИ

В роботі наведені результати досліджень з визначення залежності натягу нитки під час її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою. В дослідженні враховувався нелінійний характер залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості.

Ключові слова: нитка, направляюча поверхня, тертя, приведений коефіцієнт тертя.

V.YU. SCHERBAN, N.I. MURZA, A.N. KIRICHENKO, M.I. SHOLUDKO

Kyiv National University of Technologies and Design

### DETERMINATION OF TENSION AT ITS INTERACTION WITH TUBULAR GUIDES

The paper presents the results of studies to determine the dependence of the thread tension upon its interaction with the guiding surface of the tubular yarn guide, taking into account the radial angle of covering the surface of the guide yarn. The study takes into account the nonlinear character of the dependence of the friction coefficient on the contact area, the specific normal pressure on the arc of the guide's coverage. The obtained results were used to improve the technological processes of the knitting industry. Installations and research methods. Tubular guides are an integral part of the thread supply system of the technological equipment of the knitting industry. The absence of studies of the process of interaction of the yarn with the guide surface of the tubular yarn guide taking into account the radial angle of the surface of the guide yarn and taking into account the nonlinear character of the dependence of the friction coefficient on the contact area, the specific normal pressure on the arc of coverage does not allow to optimize the geometric dimensions of the guide, process of operation of technological equipment and increase productivity. The theoretical basis for solving the scientific and technical problem are the works of leading scientists in the branches of technology of textile and knitted productions, textile materials science, thread mechanics, the theory of elasticity, mathematical modelling. In theoretical studies, methods of theoretical mechanics, material resistance, experiment planning, and statistical processing of research results were used. Practical value. The improvement of the design of the tube guides of the yarn of knitted machines makes it possible to minimize its tension, to reduce the breakage of the yarn, which is of great importance for improving the technological processes of the knitting industry in terms of increasing the productivity of the technological equipment and the quality of the products being let out.

Keywords: thread, guide surface, friction, the coefficient of friction.

### Вступ

**Актуальність.** Недосконалість конструкції трубчастих спрямовувачів нитки не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи трикотажної машини [1–3]. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості випускаємої продукції [4–7]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі нитки на трикотажних машинах. **Об'єкти і методи дослідження.** Трубчасті спрямовувачі є складовою частиною системи подачі нитки технологічного устаткування трикотажної промисловості [1, 8–12]. Відсутність досліджень процесу взаємодії нитки з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою та з урахуванням нелінійного характеру залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення не дозволяє оптимізувати геометричні розміри направляючої, що дозволило мінімізувати натяг в процесі роботи технологічного устаткування і підвищити продуктивність [4–7]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень [1, 3, 5–9]. **Практичне значення.** Удосконалення конструкції трубчастих спрямовувачів нитки трикотажних машин дозволяє мінімізувати її натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості випускаємої продукції [1–3].

### Постановка завдання

Встановити залежності натягу нитки при її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою з урахуванням нелінійного характеру залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної.

Встановити залежності впливу радіусу кривизни напрямної на величину вихідного натягу з урахуванням співвідношення радіусу нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача.

### Основна частина

На рис.1 показана загальна розрахункова схема. Нитка огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу  $\rho$ . Вхідний натяг нитки дорівнює  $P_0$ , а вихідний натяг нитки дорівнює  $P$ .

Система диференційних рівнянь, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки має вигляд [1–3]

$$\frac{dP}{ds} = F_{TP}, \quad ds = \rho d\varphi, \quad \frac{Pd\varphi}{ds} = N, \quad F_{TP} = f_{ПР}N, \quad f = a\left(\frac{P\varphi}{\rho}\right)^n, \quad f_{ПР} = \frac{4 \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\delta + \sin(\delta)} a\left(\frac{P\varphi}{\rho}\right)^n, \quad (1)$$

де  $P$  – натяг нитки;  $S$  – дугова координата;  $F_{mp}$  – сила тертя, яка діє на нескінченно малий елемент нитки;  $\varphi$  – кут охоплення ниткою напрямної поверхні;  $f_{ПР}$  – приведений коефіцієнт тертя;  $\delta$  – радіальний кут охоплення нитки поверхнею напрямної;  $N$  – питома нормальна реакція напрямної поверхні;  $f$  – коефіцієнт тертя при відсутності радіального охоплення;  $a, n$  – постійні коефіцієнти, для кожного виду нитки та напрямної.

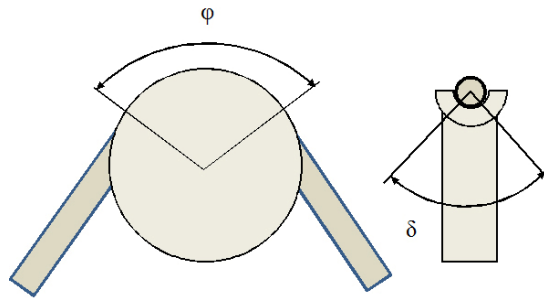


Рис.1. Загальна розрахункова схема

Дослідження, проведені в цьому напрямку [1,3–8], свідчать про те, що сила та коефіцієнт тертя нелінійно залежать від попереднього натягу, кута охоплення ниткою напрямної, діаметру циліндричної напрямної [8–12]. На рис.2 представлені графічні залежності зміни коефіцієнта тертя  $f$  від попереднього натягу нитки  $P_0$  (крива 1), кута охоплення ниткою напрямної  $\varphi$  (крива 2), діаметру циліндричної напрямної  $d$  (крива 3). Приведений коефіцієнт тертя при зміні діаметру нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача змінюється згідно залежностей, представлених на рис.2. Значення  $n$  знаходиться в межах  $(2/3) \leq n \leq 1$  [1–3]. Коли  $n = 0$ , то з п'ятого рівняння системи (1) коефіцієнт тертя буде дорівнювати  $f = a$ .

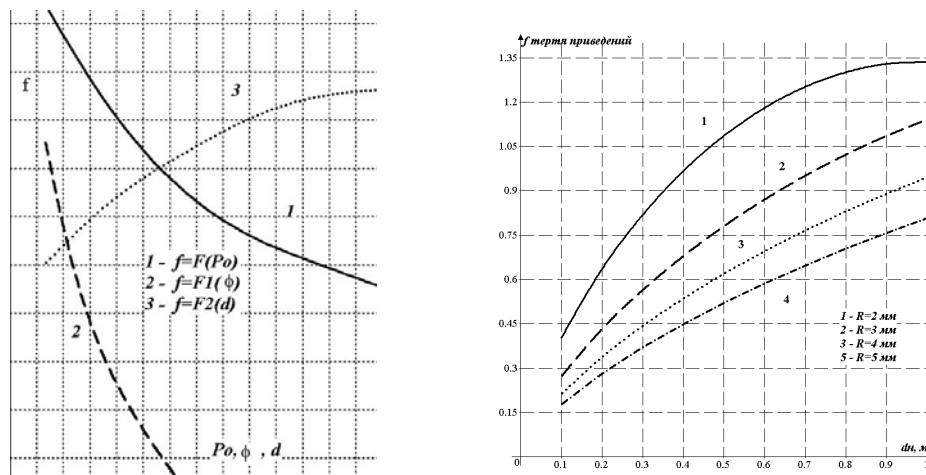


Рис. 2. Графічні залежності коефіцієнту тертя та приведенного коефіцієнту тертя від натягу нитки, кута охоплення та діаметру напрямної

В загальному вигляді залежність радіусу кривизни напрямної від дугової координати можна представити у вигляді ступеневого поліному. У разі постійного значення першої похідної дугової координати по куту охоплення радіус кривизни буде дорівнювати радіусу  $R$  циліндричної напрямної, що має місце у багатьох випадках в системах подачі нитки на трикотажних машинах.

$$\rho = \rho_0 + \sum_{i=1}^{n_1} b_i s^i, \quad \frac{ds}{d\varphi} = const, \quad \rho = R, \quad (2)$$

де  $\rho_0, b_i$  – деякі постійні.

З урахуванням системи рівнянь (2), представимо систему диференційних рівнянь (1) у вигляді

$$\frac{dP}{ds} = \frac{P}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)} \frac{4 \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} a \left[ \frac{P\varphi}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)} \right]^n. \quad (3)$$

Преобразуємо диференційне рівняння (3), з урахуванням другого рівняння системи (1)

$$\frac{dP}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right) d\varphi} = \frac{P^{n+1} \varphi^n}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)^{n+1}} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]}.$$

Або

$$\frac{dP}{P^{n+1}} = \frac{\varphi^n}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi.$$

У випадку постійного радіусу кривизни напрямної отримаємо

$$\frac{dP}{P^{n+1}} = \frac{\varphi^n}{R^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi.$$

Проінтегруємо останнє диференційне рівняння

$$\int_{P_0}^P P^{-n-1} dP = \int_0^\varphi \frac{\varphi^n}{R^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi.$$

Підставляємо верхнє та нижнє значення параметрів визначених інтегралів та отримуємо

$$P^{-n} = P_0^{-n} - \frac{\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]}. \quad (4)$$

Перейдемо до аналізу рівняння (4). Прологорифмуємо його ліву та праву частини

$$-n \ln(P) = \ln \left\{ P_0^{-n} - \frac{n \varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} \right\}.$$

Визначимо значення натягу ведучої гілки нитки для чого перейдемо в останньому рівнянні до границі при  $n \rightarrow 0$

$$\lim_{n \rightarrow 0} \ln(P) = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{\ln \left\{ P_0^{-n} - \frac{n \varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} \right\}}{-n}.$$

Використовуючи правило Лопіталя будемо мати

$$\ln(P) - \ln(P_0) = \frac{\varphi^{n+1}}{P_0^{-n} R^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]}. \quad (5)$$

Аналізуючи рівняння (5), при  $n \rightarrow 0$ , отримаємо остаточноий. Остаточноий вираз для визначення натягу ведучої гілки нитки буде мати вигляд

$$P = P_0 e^{\frac{\varphi^{n+1}}{P_0^{-n} R^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]}}. \quad (6)$$

Для випадка, коли коефіцієнт тертя є сталою величиною, враховуючи рівняння (1), при  $n = 0, f = a$ , отримаємо з (6)

$$P = P_0 e^{\frac{4 \sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} f \varphi} \quad (7)$$

Тут необхідно вказати, що формула (7) відрізняється від формули, яка отримана в роботі [1–3, 6]. Спрощення формули в роботі [6] обмежують її використання. При  $\delta \rightarrow 0$  в формулі (7), отримуємо відому формулу Л. Ейлера

$$P = P_0 e^{f \varphi}.$$

На рис. 3 представлені результати визначення натягу для капронової нитки 28 Т для  $P_0 = 5, 10, 15, 20$  сН по формулі (6). При розрахунках  $a=0,4; n=0,7; \varphi=3,14$ . На цьому рисунку наведені також експериментальні дані. Порівняння теоретичних та експериментальних даних показало, що похибка не перевищує 2–4%. При розрахунку за формулою Л.Ейлера похибка перевищує 11%.

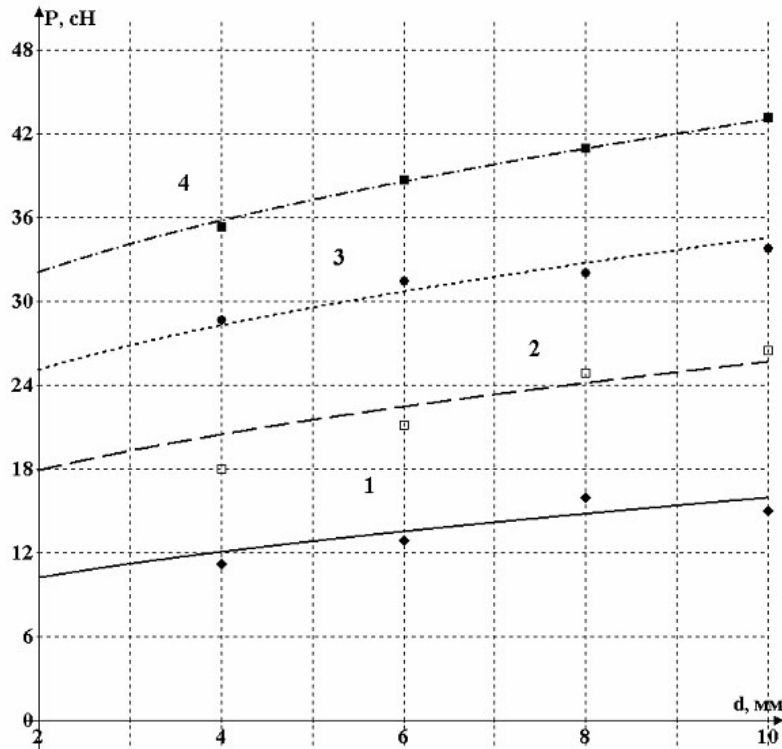


Рис. 3. Залежність натягу капронової нитки 28 Т від радіусу кривини циліндричної напрямної

### Висновки

Встановлено залежності натягу нитки при її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою. В дослідженні враховувалися нелінійний характер залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної.

Аналіз отриманих залежностей дозволив встановити, що при зростанні радіусу кривизни напрямної зростає вихідний натяг, що пов'язано зі збільшенням площі контакту. Крім того, на зміну натягу впливає співвідношення радіусу нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача. При наближенні цього співвідношення до 1 натяг нитки на виході буде мати максимальне значення.

### Література

1. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди / В.Ю. Щербань, О.З. Колиско, М.І. Шолудько, В.Ю.Калашник. – К. : Освіта України, 2017. – 745 с.
2. Щербань В. Ю. Математичні моделі в САПР. Обрані розділи та приклади застосування / В. Ю. Щербань, С. М. Красницький, В. Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.
3. Щербань В.Ю. Механіка нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.
4. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю.Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.
5. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі / В.Ю. Щербань, В.Ю. Калашник, О.З. Колиско, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного

університету. Технічні науки. – 2015. – № 2(223). – С. 25–29.

6. Колиско М.І. Визначення впливу змінання та жорсткості на згин на натяг нитки при її взаємодії з циліндричною напрямною/ М.І. Колиско, В.Ю. Щербань// Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 10–13.

7. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 6(243). – С. 18–21.

8. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 1(245). – С. 83–86.

9. Scherban V. Interaction yarn guide surface / V. Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4. – Number 3. – P. 10–15.

10. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile / V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June – 2016. – Volume 5.– Number 3. – P. 23–27.

11. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner / V. Scherban, N. Murza, A. Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10. – Number 2. – P. 18–23.

12. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface / V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko// Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6. – Number 1. – P. 22–26.

#### References

1. Scherban V.Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry / V.Yu.Scherban, O.Z.Kolisko, M.I.Sholudko, V.Yu.Kalashnik. - K.: Education of Ukraine, 2017. - 745 p.

2. Scherban V. Yu. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application / V. Yu. Scherban, S. M. Krasnitsky, V. G. Rezanov. - K.: KNUDT, 2011. - 220 p.

3. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads/ V.Yu.Scherban, O.N. Khomyak, Yu.Yu.Scherban. -K .: Library of Official Publications, 2002.- 196 p.

4. Scherban V.Yu., Sholudko M.I., Kolisko O.Z., Kalashnik V.Yu.. Optimization of the process of interaction of a thread with guides, taking into account the anisotropy of frictional properties. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015. Volume 225. Issue 3. pp.30-33.

5. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I.. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axisio. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2015. Volume 223. Issue 2. pp.25-29.

6. Kolisko M.I., Scherban V.Yu.. Determination of the effect of folding and stiffness on the bend on the tension of the thread when it interacts with the cylindrical guide. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2013.Issue 6. pp.10-13.

7. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Comparatived analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2016. Volume 243. Issue 6. pp.18-21.

8. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Overall performance of compensators of the filament of knitted cars. Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences. Khmelnytskyi.2017. Volume 245. Issue 1. pp.83-86.

9. Scherban V. Interaction yarn guide surface/V.Scerban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.- Number 3. – pp. 10-15.

10. Scherban V. Kinematics of threads cooperates with the guiding surfaces of arbitrary profile /V. Scherban, N. Murza, O. Kolisko, M. Sheludko, I. Semenova //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May/June - 2016. – Volume 5.- Number 3. – pp. 23-27.

11. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner/V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des - 2016. – Volume 10.- Number 2. – pp. 18-23.

12. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – pp. 22-26.

Рецензія/Peer review : 20.11.2017 р.

Надрукована/Printed :04.02.2018 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г.Здоренко