УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, Г.В. МЕЛЬНИК, М.І. ШОЛУДЬКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ВЗАЄМОДІЯ ТЕКСТИЛЬНИХ НИТОК З НАПРЯМНИМИ ВЕЛИКОЇ КРИВИНИ У ВИПАДКУ НАЯВНОСТІ РАДІАЛЬНОГО ОХОПЛЕННЯ

В роботі наведені результати досліджень процесу взаємодії текстильних ниток з напрямними поверхнями великої кривини у випадку наявності радіального охоплення з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів швейної та текстильної промисловості.

Ключові слова: текстильна нитка, направляюча поверхня, кривина, тертя, радіальне охоплення.

V.YU. SCHERBAN, N.I. MURZA, A.N. KIRICHENKO, G.V. MELNIK, M.I. SHOLUDKO
Kyiv National University of Technologies and Design

INTERACTION OF TEXTILE FILAMENTS WITH DIRECTING THE BIG CURVATURE IN THE CASE OF PRESENCE OF RADIAL SCOPE

In the process of processing filaments co-operate with the sending surfaces of large curvature. The arising up here loadings in the area of contact can result in the precipice of filament. Research of this process will allow to minimize the value of pull and develop the rational constructions of sending large curvature. An important value has a decision of this task for the improvement of technological processes of textile and sewing industry from position of increase of the productivity of technological equipment and quality of the produced products. Thus, a theme of this article is important, which has an important value for the improvement of the system of serve of filament on a technological equipment. Installations and research methods. At processing on the technological equipment of filament co-operate with the sending surfaces of large curvature. Absence of researches of process of co-operation of filament with the sending surfaces of large curvature taking into account inflexibility on a bend, to deformation in the area of contact, to nonlinear dependence from an entrance pull and radius of curvature of surface does not allow the coefficient of friction to set dependence of initial pull of filament on the radius of curvature of sending surface of large curvature, entrance pull, corner of scope, type of raw material taking into account correlation of radius of filament and internal radius and to optimize the geometrical sizes of sending. The lead through of such researches will allow to minimize a pull in the process of work of technological equipment and promote the productivity. Theoretical basis at the decision of scientific and technical problem are labours in industries of technology of textile and knitting productions, textile materials, mechanics of filament, theory of resiliency, mathematical design. Practical value. Optimization of pull of textile filament before the working area of technological equipment from position of his minimization allows to decrease the precipices of filaments, time of stop of technological equipment and to promote quality of the produced products.

Keywords: textile filament, sending surface, curvature, friction, radial scope.

Вступ

Актуальність. В процесі переробки нитки взаємодіють з направляючими поверхнями великої кривини. На рис. 1 а-г представлені такі випадки, коли має місце радіальне охоплення нитки направляючою поверхнею[1–3, 5, 6]. Виникаючі при цьому навантаження в зоні контакту можуть призводити до обриву нитки. Дослідження цього процесу дозволить мінімізувати значення натягу та розробити раціональні конструкції направляючих великої кривини. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та швейної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається [1, 4, 6]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі нитки на технологічному устаткуванні.

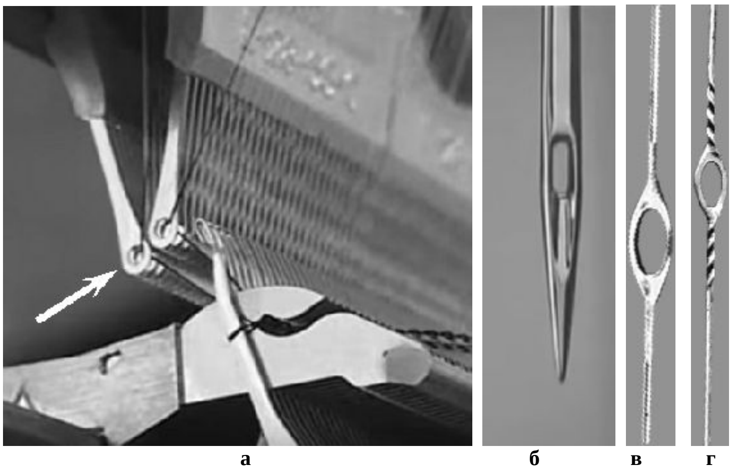

Рис. 1. Робочі органи технологічних машин: а – вушковини гребінок основов'язальної машини; б – голка швейної машини; в, г – галева ремізних рамок ткацького верстата

Об'єкти і методи дослідження. При переробці на технологічному устаткуванні нитки взаємодіють з направляючими поверхнями великої кривини (рис. 1а-г) [1, 3, 5, 6, 8–14]. Відсутність досліджень процесу взаємодії нитки з направляючими поверхнями великої кривини з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині не дозволяє встановити залежність вихідного натягу нитки від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини, вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини з урахуванням співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача та оптимізувати геометричні розміри направляючої. Проведення таких досліджень дозволить мінімізувати натяг в процесі роботи технологічного устаткування і підвищити продуктивність [6–14]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці в галузях технології текстильного та трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання [1, 3, 5, 6, 7–14].

Практичне значення. Оптимізація натягу текстильної нитки перед робочою зоною технологічного устаткування (зона в'язання, формування тканини, зшивання деталей одягу) з позиції його мінімізації дозволяє зменшити обриви ниток, час зупинки технологічного устаткування і підвищити якість продукції що випускається [1–3].

Постановка завдання

Встановити залежності вихідного натягу текстильної нитки від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини, вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини з урахуванням співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині.

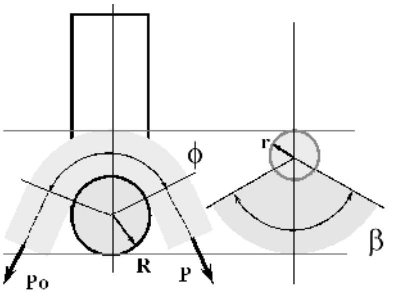

Рис. 2. Загальна розрахункова схема

Основна частина

На рис. 2 показана загальна розрахункова схема. Нитка радіусу r огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу R. Вхідний натяг нитки дорівнює P_0, а вихідний натяг нитки дорівнює P.

Результати та їх обговорення

На рис. 1 показана загальна розрахункова схема. Нитка огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу R. Вхідний натяг нитки дорівнює P_0, а вихідний натяг нитки дорівнює P. Кут охоплення ниткою циліндричної напрямної дорівнює $\varphi = \varphi_P + \varphi_{см1} + \varphi_{см2} - \varphi_{иж1} - \varphi_{иж2}$, де φ_P – кут охоплення ниткою напрямної без урахування зминання та жорсткості на згин (на рис.1 $\varphi_P = \pi$); $\varphi_{см1}, \varphi_{см2}$ – кути, на які збільшується кут φ_P за рахунок деформації зминання в зоні контакту нитки з напрямною; $\varphi_{иж1}, \varphi_{иж2}$ – кути, на які зменшується кут φ_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

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

де $(\frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^{w} d_i^4)^{j(K)}$ – коефіцієнт жорсткості нитки на згин; E – модуль пружності нитки на розтягнення; d_i – діаметри окремого елементарного волокна (філамента), 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; δ, δ_0 – відносна деформація перетину нитки в точках її сходу та входу на напрямну; u_1, u_2 – деякі постійні коефіцієнти.

Перейдемо для визначення взаємозв’язку між натягом нитки у точка A та B. На цій ділянці нитка буде взаємодіяти з циліндричною напрямною поверхнею.

Система диференційних рівнянь, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки $ds = (R + r)d\varphi$ (s – дугова координата) має вигляд [1–3, 8=14]

$$\frac{dP}{ds} = F_{TP}, \quad N = b_1 E_1 \delta, \quad \frac{P}{[R + r(1-\delta)]} = N, \quad (2)$$

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_1 – ширина сліду контакту нитки з напрямною поверхнею; E_1 – модуль пружності нитки при стисканні [1, 3] .

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, 7].

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

$$F_{TP} = f_{\Pi P} N^n, \; f = \frac{a}{b\varphi^{n_1}}, \; f_{\Pi P} = \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \frac{a}{b\varphi^{n_1}}. \tag{3}$$

де n, a, b, n_1 – деякі константи, значення яких залежить від виду матеріалів нитки та напрямної та умов взаємодії між ними; $f_{\Pi P}$ – приведений коефіцієнт тертя; β– радіальний кут охоплення нитки поверхнею напрямної[5, 6]; f – коефіцієнт тертя при відсутності радіального охоплення. Так значення n знаходиться в межах $2/3 \le n \le 1$ [1, 3]. Коли $n_1 = 0$, то з другого рівняння системи (3) будемо мати $f = a/b$.

З системи (2) виключимо значення питомої нормальної реакції

$$\frac{P}{[R + r(1-\delta)]} = b_1 E_1 \delta. \tag{4}$$

Підставляємо (4) в перше рівняння системи (2), з урахуванням (3), отримаємо

$$\frac{d}{ds}\{[R + r(1-\delta)]b_1 E_1 \delta\} = \frac{a}{b\varphi^{n_1}} \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} (b_1 E_1)^n (\delta)^n.$$

Проінтегруємо останнє диференційне рівняння, отримаємо

$$(\delta)^{1-n} = (\delta_0)^{1-n} + \frac{(1-n)a(b_1 E_1)^{n-1}}{b(1-n_1)} \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi^{1-n_1}. \tag{5}$$

Використовуючи правило Лопіталя та граничний перехід при $n \to 1$, $n_1 = 0$ $f = \frac{a}{b}$ отримаємо

$$\delta = \delta_0 e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi}. \tag{6}$$

Підставляємо (6) в перше рівняння системи (2), з урахуванням першого рівняння системи (3), будемо мати при $n = 1$

$$P_B = P_A \left[1 + \frac{(R + r)}{[R + r(1-\delta_0)]} (e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi} - 1) \right]. \tag{7}$$

Вирішуємо (7) разом з системою рівнянь (1), тоді

В остаточному вигляді будемо мати

$$\begin{gathered} P = P_0 \left[1 + \frac{(R + r)}{[R + r(1-\delta_0)]} \left(e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi} - 1 \right) \right] + \left[\frac{\left(\frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^{w} d_i^4 \right)^{(1 + u_1 K^{u_2})}}{2[R + r(1-\delta)]^2} \right] - \left[\frac{\left(\frac{E\pi}{64} \sum_{i=1}^{w} d_i^4 \right)^{(1 + u_1 K^{u_2})}}{2[R + r(1-\delta_0)]^2} \right] \times \\ \times \left[1 + \frac{(R + r)}{[R + r(1-\delta_0)]} \left(e^{f \frac{4\sin(\frac{\beta}{2})}{\beta + \sin(\beta)} \varphi} - 1 \right) \right]. \end{gathered} \tag{8}$$

Кут $\varphi = \varphi_P + \varphi_{см1} + \varphi_{см2} - \varphi_{иж1} - \varphi_{иж2}$, можна розрахувати з використанням формул [1–3]

$$\varphi_{см1} = \arccos\left[1-\delta_0\left(\frac{2r}{R}\right)^2\right], \quad \varphi_{см2} = \arccos\left[1-\delta\left(\frac{2r}{R}\right)^2\right],$$
$$\varphi_{иж1} = \arccos\left[1-\frac{B}{2P_0(R+r)^2}\right], \quad \varphi_{иж2} = \arccos\left[1-\frac{B}{2P(R+r)^2}\right]. \qquad (9)$$

Рівняння (8) необхідно вирішувати з використанням систем (2), (9). 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.

На рис. 3 представлені графічні залежності натягу ведучої гілки нитки P для: капронової комплексної нитки 174 Т (1 крива), B =1,3 сН·мм^2, P_0 =10 сН, r =0,24 мм, R =0,5…10 мм, φ_p =3,14 рад, n =0,82, β=; віскозної штапельної пряжі 93,5 Т(2 крива), B =1,2 сН·мм^2, P_0 =10 сН, r =0,2 мм, R =0,5…10 мм, φ_p =3,14 рад, n =0,85, β= ; бавовняної пряжі 100 Т(3 крива), B =2,5 сН·мм^2, P_0 =10 сН, r =0,21 мм, R =0,5…10 мм, φ_p =3,14 рад, n =0,78, β= .

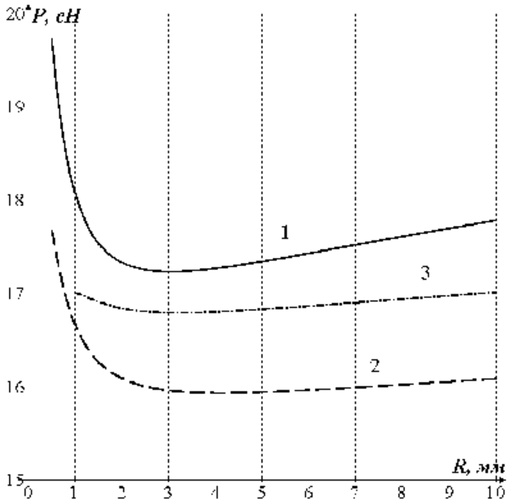

Рис. 3. Залежності натягу P ведучої гілки нитки від радіусу циліндричної напрямної

Аналіз графічних залежностей на рис.3 показав, що натяг ведучої гілки нитки для трьох обраних зразків змінюється при зростанні радіусу кривини напрямної. На першій ділянці, при зміні радіусу з 0.5 до 2–5 мм, натяг зменшується. Це пов'язано зі зміною сумарного кута охоплення. Мінімальне значення натягу для капронової комплексної нитки 174 Т буде коли радіус дорівнюватиме 2.6 мм, для віскозної штапельної пряжі 93,5 Т коли радіус дорівнюватиме 3.8 мм та для бавовняної пряжі 100Т коли радіус дорівнюватиме 2.9 мм. При подальшому зростанні радіусу напрямної буде відбуватися поступове зростання натягу. Це пояснюється зміною орієнтації окремих філаментів відносно утворюючої поверхні [1, 3, 6]. Таким чином, постає питання про оптимізацію розмірів направляючих машин текстильної промисловості.

Висновки

Отримані залежності вихідного натягу текстильної нитки від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини, вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини з урахуванням співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача з урахуванням жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя від вхідного натягу та радіусу кривини поверхні в нормальній площині.

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. Краснитський, В. Г. Резанова. – К. : КНУТД, 2011. – 220 с.

3. Щербань В.Ю. Механика 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. Калачник // Вісник

Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 3(225). – С. 30–33.

5. Щербань В.Ю. Визначення приведеного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 6(255). – С. 23–27.

6. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами / В.Ю. Щербань, Н.І. Мурза, А.М. Кириченко, М.І. Шолудько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 1 (257). – С. 213–217.

7. 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.

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

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

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.: KNUTD, 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. Khmelnitskyi. 2015. Volume 225. Issue 3. pp. 30-33.

5. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of friction coefficient factor for rings and tubular trailers of thread of knitted machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2017. Volume 255. Issue 6. pp. 23-27.

6. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Melnik G.V., Sholudko M.I. Determination of tension at its interaction with tubular guides. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2018. Volume 257. Issue 1. pp. 213-217.

7. 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 axisю. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. 2015. Volume 223. Issue 2. pp. 25-29.

8. 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. Khmelnitskyi. 2013. Issue 6. pp. 10-13.

9. Scherban V.Yu., Murza N.I., Kirichenko A.N., Sholudko M.I.. Comparativec analysis of work of natyazhiteley of filament of textile machines. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. Khmelnitskyi. 2016. Volume 243. Issue 6. pp. 18-21.

10. 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. Khmelnitskyi. 2017. Volume 245. Issue 1. pp. 83-86.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

Отримана/Received : 12.03.2018 р. Надрукована/Printed :24.3.2018 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Здоренко