DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-131-135
УДК 677.055.548-192

Л. М. БЕРЕЗІН
Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID ID: 0000-0002-2672-6323
e-mail: lnb07@ ukr.net

ДО РОЗРАХУНКУ НАВАНТАЖЕНОСТІ В'ЯЗАЛЬНИХ ГОЛОК ШКАРПЕТКОВИХ АВТОМАТІВ

В роботі наведено результати досліджень впливу швидкісних режимів шкарпеткових автоматів на навантаженість в'язальних голок за сумарним числом циклів навантажень. Встановлені залежності колових швидкостей голкового циліндру, за яких можливий розрив силового замикання п'яток голок при ударі з клином та додаткова взаємодія п'яток невідібраних голок з горизонтальними обмежувальними клинами.

Ключові слова: шкарпетковий автомат, в'язальна голка, навантаженість, удар, цикл навантаження.

BEREZIN LEONID M.
Kyiv National University of Technologies and Design

TO CALCULATE THE LOADING OF KNITTING NEEDLES OF AUTOMATIC HALF-HOSE MACHINES

An important link in the analysis of the longevity of details by the criterion of fatigue strength is the calculation of parameters that take into account the peculiarities of the technological regime in terms of load and the corresponding number of cycles that affect the accumulation of fatigue failure. The final range of loads of knitting needles of automatic half-hose machine was based on the systematization of amplitudes of forces depending on the frequency of their implementation. Previous works has assumed the assumption of a one interaction of the needle heel with the cams, which is experimentally refuted by the example of modern high-speed automatic half-hose machine.

The aim of the work is to adjust the provisions of calculating the load of knitting needles of half-hose machines for design estimate of longevity, taking into account the specific features of the impacts of needles with the cams of the knitting system, which affect the total number of load cycles.

The condition of rupture of the contact in the pair of the needle heel and the inclined cam after their impact is considered, taking into account the inertial and rigid parameters of the system, including the resisting force of the needle in the groove of the cylinder. According to the results of the dynamic analysis, the expressions of the minimum speed at which the needle can rebound from the cam and the vertical component of the needle rebound speed at the moment of its separation from the cam are obtained.

The analysis of the influence of the force of resistance of the needle movement in the race on the vertical speed of the needle is performed. The issue of the bounce of the heels of unselected needles from the lower edge of the inclined cam due to their inertial run-out was studied separately. It is established that at certain circular speeds of the needle cylinder leads to additional impacts of the needles with the horizontal limiting cams and increases their destruction.

The results of studies of the possible rebound of the needle heel from the inclined cam and the interaction of the needle with the limiting horizontal cams are a supplement to the method of calculating the loading of needles and are aimed at improving the accuracy of design longevity of needles.

Keywords: automatic half-hose machine, knitting needles, loading, impact, load cycle

Постановка проблеми

Важливою ланкою в розрахунках довговічності деталей за критерієм втомленої міцності є обчислення параметрів напруженості [1], на точність якого впливають режим навантаження та супутнє накопичення втомлених пошкоджень. Це підтверджується невідповідністю проектної довговічності машин з результатами експлуатаційних спостережень для виробів машинобудування [2–4], включно з круглов'язальним обладнанням [5, 6]. Незважаючи на значну базу нормативно-технічної документації [7–9] щодо методів обрахунку напруженості деталей машин, очевидною є необхідність виявлення специфічних закономірностей зміни навантажень за часом з урахуванням технологічних особливостей роботи об'єкту проектування. Оцінка навантаженості включає схематизацію навантажень та визначення статистичних характеристик навантаженості.

Аналіз останніх джерел

Для складання підсумкового спектру навантажень в'язальних голок вибирають певний інтервал часу, переважно за який виготовляють типовий шкарпетковий виріб з урахуванням можливих типорозмірів та різновиду асортименту [5]. Враховуючи режим навантаження голок з вираженою закономірністю чергування, використовують однопараметричну систематизацію за амплітудами навантажень F_i залежно від частоти їх реалізації – числа циклів навантажень даної амплітуди N_i. При аналізі розподілення навантажень в функції частоти їх прикладання або відношення числа циклів $\nu_i = \frac{N_i}{\sum N_i}$ передусім використовують представлення в виді гістограми (дискретного ступінчастого графіку), що спрощує оцінку навантаженості в порівнянні з використанням щільності розподілення амплітуд $f(F_i)$ [4]. Якщо при оцінці навантаженості визначення динамічних навантажень на голку широко представлені в літературних джерелах, наприклад в [5, 10–12], то існує певна невизначеність щодо обчислення частоти прикладання навантажень, яка зумовлена різними поєднаннями регламентованих факторів в умовах експлуатації.

Оскільки навантаженість голок доцільно представляти блоком їх навантажень при виготовленні типового виробу, то сумарна кількість циклів навантаження голки за цей період дорівнює числу ударів

голки з усіма клинами в'язальної системи на робочих швидкісних режимах виготовлення різних ділянок виробу, які обчислюють на основі аналізу руху п'ятки голки відносно клинів в'язальної системи.

Обрахунок виконували при виготовленні виробу з жакардовим переплетенням на гомілці та частково сліду, з класичною п'яткою і миском, враховуючи відбір голок клином неповного заключення в третій системі при в'язанні борту виробу, відбір рисунчастими шиберами в трьох системах для утворення рисунків на ділянках гомілки (середня кількість шиберів, що включаються, дорівнює 2,23 [13]), відбір шиберами збою на ділянці сліду, в пристроях відбору голок при в'язанні п'яткового та мискового карманів. В роботі [14] представлена узагальнена інформація щодо визначення сумарного числа циклів навантаження голки залежно від кількість петельних рядків на ділянках борту, гомілки, сліду, п'ятки, миску, ряду підсилення, ранжейного ряду та ряду розпуску відповідно. Недосконаліть наведених виразів полягає в припущенні одноразової взаємодії п'ятки голки з клинами, тобто при неперервному контакті між п'яткою та поверхнею клину, що експериментально спростовується на сучасних швидкісних шкарпеткових автоматах.

Метою роботи є корегування положень обчислення навантаженості в'язальних голок шкарпеткових автоматів для проектної оцінки довговічності з урахуванням специфічних особливостей ударної взаємодії голок з клинами в'язальної системи, які впливають на сумарне число циклів навантажень.

Виклад основного матеріалу

Умову розриву силового замикання в кінематичній парі п'ятка – нахилений клин після їх удару визначали аналогічно до кулачкового механізму [15]:

$$V_x tg\alpha\sqrt{m\cdot C_{np}\cdot K_C/(1-\delta^2/4\pi)} \ge F_O + 2hV_x tg\alpha\cdot m \quad \text{при} \quad |sin\omega_d t| \le 1, \tag{1}$$

де m, C_{np} – маса та приведена жорсткість голки при боковій взаємодії її п'ятки з нахиленою поверхнею клину (приведену масу голки прирівнювали до її маси m, а C_{np} обчислювали за осцилограмою вільних затухаючих коливань при відтворенні частотних характеристик ударного процесу); K_C – коефіцієнт, який враховує вплив згину стержня голки на його повздовжню деформацію в момент удару; V_x – колова швидкість п'ятки голки на поверхні циліндра; α – кут нахилу профілю робочої ділянки клину; F_O – сила опору руху голки в пазу, яка створюється штучно для унеможливлення довільного опускання голки в пазу циліндра; $h = \delta / T$ – коефіцієнт демпфірування; δ – логарифмічний декремент коливань, який визначається за осцилограмою затухаючих коливань ударного процесу; $T = 2\pi/\omega$ – період затухаючих коливань голки при частоті вимушених коливань ω; $\omega_d = \sqrt{\omega^2 - h^2} = \sqrt{\omega^2 - \omega^2\delta^2/4\pi^2} = \sqrt{(1-\delta^2/4\pi^2)K_C C_{np}/m)}$ – частота власних коливань з урахуванням демпфірування.

Тоді колова швидкість голкового циліндру, при якій можливий відрив п'ятки голки від клину визначається за формулою:

$$V_x \ge F_O / tg\alpha(\sqrt{m\cdot C_{np}\cdot K_C/(1-\delta^2/4\pi^2)} - 2h\cdot m). \tag{2}$$

При підстановці в (2) вихідних даних для автоматів середнього класу (m=0,6·10^{-3} кг; α=47°30'; F_O= 4,8 Н; $h = \delta\cdot\omega_d/2\pi$=565,1 с$^{-1}$ при δ=0,43; C_{np}=5,31·10^4 Н/м; K_C=0,352 [16], діаметр голкового циліндру $D = 3\frac{3}{4}''$), отримуємо, що колова швидкість, при якій маємо розрив замикання п'ятки та клину, становить $V_x \ge 1{,}64$ м/с або n=328,5 об/хв, тобто є реальною для перспективних швидкісних автоматів.

Правомірність застосування залежності (2) було перевірено експериментально: розрив в парі голка–клин в зоні їх початкової взаємодії фіксувався осцилографом за допомогою контактного датчика.

При кінематичному аналізі визначали вертикальну складову швидкості відскоку голки $V_в$ в момент удару її по нахиленому клину за наявності розриву кінематичної пари. Диференціюючи рівняння руху голки [8], рівняння вертикальної складової швидкості п'ятки голки при відскоку має вид:

$$\dot{y} = V_x tg\alpha(1 + e^{-h\cdot t}(\frac{h}{\omega_d} sin\omega_d t - cos\omega_d t)). \tag{3}$$

Враховуючи, що відскок п'ятки від клину можливий, коли сила ударної взаємодії дорівнює 0, то отримуємо:

$$sin\omega_d t = -\frac{F_O + 2mhV_x tg\alpha}{K_C\cdot e^{-h\cdot t}V_x tg\alpha\sqrt{m\cdot C_{np}/(1-\delta^2/4\pi^2)K_C}} \text{ або}$$

$$sin\omega_d t = -\frac{(F_O + 2mhV_x tg\alpha)\omega_d}{e^{-h\cdot t}V_x tg\alpha\cdot C_{np}\cdot K_C}, \tag{4}$$

де

$$C_{np} / \omega_d = \sqrt{m \cdot C_{np} /(1-\delta^2 / 4\pi^2)K_C} \text{ та}$$

$$cos\,\omega_d t = \sqrt{1-sin^2\,\omega_d t} = \sqrt{1-(\frac{(F_O + 2mhV_x tg\alpha)\omega_d}{e^{-h\cdot t}V_x \cdot tg\alpha \cdot C_{np} \cdot K_C})^2} \,. \quad (5)$$

Після підстановки (4) і (5) в (3), та враховуючи зміст кореня в рівнянні (5), при якому забезпечується умова $\dot{y} > V_x tg\alpha$, остаточно отримали вираз для визначення швидкості відскоку голки $\dot{y} = V_в$ від нахиленого клину:

$$V_в = V_y(1+e^{-ht}\left|\sqrt{1-(\frac{(F_O + 2mhV_{ycm})\omega_d}{e^{-ht}V_{ycm} \cdot C_{np} \cdot K_C})^2}\right|) - \frac{h}{K_C \cdot C_{np}}(F_O + 2hV_{ycm} \cdot m), \quad (6)$$

де $V_x tg\alpha = V_y$ – швидкість усталеного руху п'ятки по клину.

Аналіз формули (6) показує, що швидкість відскоку $V_в$ зростає з підвищенням лінійної швидкості V_x, кута нахилу клину α, приведеної жорсткості системи голка–клин–паз C_{np} та особливо при зменшенні сили корисного опору F_O. При умовних $F_O + 2mhV_x tg\alpha \to 0$ маємо $V_в \to V_y(1+e^{-ht})$, а при зростанні $F_O + 2mhV_x tg\alpha$ – відповідно $V_в \to V_y$, тобто $V_y \le V_в \le V_y(1+e^{-ht})$.

При відскоку п'яток невідібраних голок від нижньої кромки нахиленого клину внаслідок їх інерційного вибігу можлива додаткова взаємодія п'яток з горизонтальними обмежувальними клинами, що відповідно збільшує навантаженість голок. Обмежувальні клини призначені для забезпечення фіксованого переміщення при гальмуванні голок для усунення поперечної строкатості на шкарпеткових виробах. Величину зазору Δ між нижнім торцем п'ятки голки і робочою площиною обмежувального горизонтального клину задають за допустимою величиною відхилення довжин петель (не повинна перевищувати 0,2…0,3 мм) [17].

Рівняння руху голки на переміщенні Δ між торцем голки та обмежувальним клином та відповідні вертикальні складові швидкостей і переміщень мають вид:

$$m_{np}\ddot{y}_2 = -F_O; \quad (7)$$

$$\dot{y}_2 = -\frac{F_O}{m_{np}}t + \dot{y}_{20}; \quad (8)$$

$$y_2 = -\frac{F_O}{m_{np}}\frac{t^2}{2} + \dot{y}_{20} \cdot t, \quad (9)$$

де y_2 – відносне вертикальне переміщення п'ятки голки вздовж голкового циліндру, $\dot{y}_{20} = V_в$ – початкова умова за наявності відскоку.

В момент взаємодії п'ятки голки з обмежувальним клином приймаємо $t = \tau$ та $y_2 = \Delta$. Тоді за рівнянням (9) отримаємо $\Delta = -\frac{F_O}{m_{np}}\frac{\tau^2}{2} + V_{відс} \cdot \tau$ з наступними розв'язками:

$$\tau_{1,2} = \frac{V_{відс} \pm \sqrt{(V_{відс})^2 - 2\Delta \cdot F_O / m_{np}}}{F_O / m_{np}}.$$

Після підстановки $t = \tau_{1,2}$ в (8) та певних перетворень, залежність для вертикальної складової швидкості в момент удару п'ятки голки з обмежувальним клином прийме вид:

$$\dot{y}_{2\tau} = \sqrt{(V_{відс})^2 - 2\Delta \cdot F_O / m_{np}}. \quad (10)$$

Очевидно з (10), що при $m_{np}(V_{відс})^2 - 2\Delta \cdot F_O \le 0$ удар п'ятки голки по обмежувальному клину неможливий через її гальмування силою F_O, а величина зазору, яка забезпечує відсутність удару становить $\Delta = m_{np}(V_{відс})^2 / 2F_O \le [\Delta] \cdot 10^{-3}$. Звідки $V_{відс} \le \sqrt{2F_O[\Delta] \cdot 10^{-3} / m_{np}}$. Встановлено, що при F_O = 4,8 Н, $[\Delta] = 0{,}25$ мм та $m = 0{,}6 \cdot 10^{-3}$ кг ударна взаємодія п'ятки голки з горизонтальним обмежувальним клином відсутня, якщо $V_{відс} \le 2{,}0$ м/с, що відповідає коловій швидкості циліндра $V_x \le \sqrt{2[\Delta] \cdot F_O / m_{np}}\, ctg\alpha \le 1{,}71$ м/с.

Висновки

Результати досліджень умов можливого відскоку п'ятки голки від нахиленого клину та взаємодії її з

обмежувальним горизонтальним клином є доповненням до методики обчислення навантаженості голок та спрямовані на підвищення точності ймовірнісних розрахунків їх довговічності за критерієм втомленісної міцності. Викладені положення також справедливі при розрахунках інших стержньових елементів в'язального механізму шкарпеткових автоматів.

Література

1. Трощенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов : справочник : [в 2 т. Т. 1] / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – К. : Наукова думка, 1987. – 1315 с.

2. Коновалов Л.В. Нагруженность, усталость, надежность деталей металлургических машин / Л.В. Коновалов. – Москва : Металлургия, 1981. – 280 с.

3. Aven T. Improving the foundation and practice of reliability engineering / T. Aven // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. – 2017. – Volume 3. – P. 295–305. – URL : https://doi.org/10.1177/1748006X17699478

4. Abdulnaser M. Alshoaibi. Fatigue life and reliability assessment of metal structures / M. Alshoaibi Abdulnaser, Mohammed A. Ghazwani, Malek H. Hakami // Engineering Solid Mechanics. – 2021. – Volume 1. – P. 13–22. – URL : https://doi.org/10.5267/j.esm.2020.7.001

5. Березін Л.М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів : монографія / Л.М. Березін. – К. : КНУТД, 2013. – 191 с.

6. Reza M.H. A study on causes of knitting machine stoppages and their impact on fabric production / M.H. Reza, M.K. Hossain // European Scientific Journal. – 2015. – P. 262–269. – URL : https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6650

7. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення : ДСТУ 2861- 94. – [Чинний від 1996–01–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1996. – 76 с. – (Національний стандарт України).

8. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессовнагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов : ГОСТ 25.101-83. – [Дата введения 1984-07-01]. – Москва : Стандартинформ, 1983. – 29 с.

9. Когаев В. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность : справочник / В. П. Когаев, Н. А. Махутов, А. П. Гусенков. – Москва : Машиностроение, 1985. – 224 с.

10. Berezin L. Estimation of Fatigue Longevity of Rod Elements of Complex Form / L. Berezin, M. Rubanka, A. Rubanka, Y. Kovalov, S. Pleshko // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. – 2021. – Volume 2. – P. 111–119, 2021. – URL : https://doi.org/10.3311/PPme.14647

11. Березин Л.Н. Анализ влияния динамических нагрузок на долговечность вязальных игл чулочно-носочных автоматов / Л.Н. Березин // Вестник витебского государственного технологического университета. – 2015. – № 29. – С. 7–12.

12. Cimilli Duru S. Effect of yarn, machine and knitting process parameters on the dynamics of the circular knitting needle / S. Cimilli Duru, C. Candan, A. Mugan // Textile research journal – 2015. – Volume 6. – P. 568–589. – URL : https://doi.org/10.1177/0040517514547216

13. Амро М. Исследование нагруженности механизма рисунка чулочных автоматов ОЗД / М. Амро, В.П. Волощенко // Изв. вузов. Технология лег. пром-сти. – 1981. – № 2. – С. 113–117.

14. Березін Л. М. До розрахунку циклів навантаження голок панчішно-шкарпеточних автоматів при визначенні їх надійності за критерієм втомленісної міцності / Л. М. Березін // Вісник КНУТД. – 2010. – № 5. – С. 13–19.

15. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин : учебник / И. И. Артоболевский. – Москва : Транспортная компания, 2016. – 639 с.

16. Пипа Б.Ф. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства / Б.Ф. Пипа, В.П. Волощенко, С.Т. Шипуков. – К. : Техніка, 1977. – 136 с.

17. Мойсеєнко Ф.А. Проектування в'язальних машин / Ф.А. Мойсеєнко. – Харків : Основа, 1994. – 336 с.

References

1. Troshenko V.T. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov : spravochnik : [v 2 t. T. 1] / V.T. Troshenko, L.A. Sosnovskij. – K. : Naukova dumka, 1987. – 1315 s.

2. Konovalov L.V. Nagruzhennost, ustalost, nadezhnost detalej metallurgicheskih mashin / L.V. Konovalov. – Moskva : Metallurgiya, 1981. – 280 s.

3. Aven T. Improving the foundation and practice of reliability engineering / T. Aven // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. – 2017. – Volume 3. – R. 295–305. – URL : https://doi.org/10.1177/1748006X17699478

4. Abdulnaser M. Alshoaibi. Fatigue life and reliability assessment of metal structures / M. Alshoaibi Abdulnaser, Mohammed A. Ghazwani, Malek H. Hakami // Engineering Solid Mechanics. – 2021. – Volume 1. – R. 13–22. – URL : https://doi.org/10.5267/j.esm.2020.7.001

5. Berezin L.M. Otsinka dovhovichnosti ta nadiinosti viazalnykh mekhanizmiv panchishno-shkarpetkovykh avtomativ : monohrafiia / L.M. Berezin. – K. : KNUTD, 2013. – 191 s.

6. Reza M.H. A study on causes of knitting machine stoppages and their impact on fabric production / M.N. Reza, M.K. Hossain // European Scientific Journal. – 2015. – P. 262–269. – URL : https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6650

7. Nadiinist tekhniky. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhennia : DSTU 2861- 94. – [Chynnyi vid 1996–01–01]. – Kyiv : Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1996. – 76 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

8. Raschety i ispytaniya na prochnost. Metody shematizacii sluchajnyh processovnagruzheniya elementov mashin i konstrukcij i statisticheskogo predstavleniya rezultatov : GOST 25.101-83. – [Data vvedeniya 1984-07-01]. – Moskva : Standartinform, 1983. – 29 s.

9. Kogaev V. P. Raschety detalej mashin i konstrukcij na prochnost i dolgovechnost : cpravochnik / V. P. Kogaev, N. A. Mahutov, A. P. Gusenkov. – Moskva : Mashinostroenie, 1985. – 224 s.

10. Berezin L. Estimation of Fatigue Longevity of Rod Elements of Complex Form / L. Berezin, M. Rubanka, A. Rubanka, Y. Kovalov, S. Pleshko // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. – 2021. – Volume 2. – R. 111–119, 2021. – URL : https://doi.org/10.3311/PPme.14647

11. Berezin L.N. Analiz vliyaniya dinamicheskih nagruzok na dolgovechnost vyazalnyh igl chulochno-nosochnyh avtomatov / L.N. Berezin // Vestnik vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. – 2015. – № 29. – S. 7–12.

12. Cimilli Duru S. Effect of yarn, machine and knitting process parameters on the dynamics of the circular knitting needle / S. Cimilli Duru, C. Candan, A. Mugan // Textile research journal – 2015. – Volume 6. – R. 568–589. – URL : https://doi.org/10.1177/0040517514547216

13. Amro M. Issledovanie nagruzhennosti mehanizma risunka chulochnyh avtomatov OZD / M. Amro, V.P. Voloshenko // Izv. vuzov. Tehnologiya leg. prom-sti. – 1981. – № 2. – C. 113–117.

14. Berezin L. M. Do rozrakhunku tsykliv navantazhennia holok panchishno-shkarpetochnykh avtomativ pry vyznachenni yikh nadiinosti za kryteriiem vtomlenisnoi mitsnosti / L. M. Berezin // Visnyk KNUTD. – 2010. – № 5. – S. 13–19.

15. Artobolevskij, I. I. Teoriya mehanizmov i mashin : uchebnik / I. I. Artobolevskij. – Moskva : Transportnaya kompaniya, 2016. – 639 s.

16. Pipa B.F. Ekspluatacionnaya nadezhnost mashin trikotazhnogo proizvodstva / B.F. Pipa, V.P. Voloshenko, S.T. Shipukov. – K. : Tehnika, 1977. – 136 s.

17. Moiseienko F.A. Proektuvannia viazalnykh mashyn / F.A. Moiseienko. – Kharkiv : Osnova, 1994. – 336 s.