

О.П. Манойленко¹, Д.М. Безуглий¹, В.А. Горобець¹, В.С. Пуць², А.С. Алексєєвєць¹

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ФУНКЦІЙ ПОЛОЖЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ЛАНЦЮГОВОГО СТІБКА ТИПУ 101 ТА ПОБУДОВА ЇХ СИНХРОГРАМИ

Київський національний університет технологій та дизайну¹
Луцький національний технічний університет²

У роботі досліджено процес формування однопіткового ланцюгового стібка типу 101 в умовах змінних його технологічних параметрів. Для швейної машини типу GK-9-2 експериментально визначені функції положення робочих органів – голки $S(\varphi)$ зубчастої рейки $T(\varphi)$, розширювача $L(\varphi)$ та $Z(\varphi)$ ниткоподавача $U(\varphi)$, а також функції дійсної $P(\varphi)$ і необхідної $P'(\varphi)$ подачі нитки за один цикл обертання головного вала. Для всіх функцій побудовано апроксимаційні поліноми 6-го порядку з високим ступенем достовірності ($R^2 = 0,998 \div 0,9999$) та похибкою не більше $\pm 0,25$ мм або $\pm 1,5^\circ$ за кутовими координатами.

Порівняння результатів, отриманих графічним та аналітичним методами дозволило провести верифікацію моделей і уточнити ключові моменти взаємодії виконавчих органів (захоплення петлі-напуску та її “заколу” голкою). Побудовані функції використано для моделювання процесу шивання із врахуванням змін товщини матеріалу й довжини стібка, що дозволило сформуванню узагальнену синхрограму роботи машини.

Аналіз функцій $P(\varphi)$ і $P'(\varphi)$ виявив значні розбіжності: при мінімальній товщині матеріалу та короткому стібку перевищення дійсної подачі нитки становить 64,4%, а при максимальних значеннях – її недостача сягає 6,2%. Причиною є фіксований закон подачі в повзунному механізмі, який не передбачає регулювання.

Отримані результати підкреслюють доцільність розроблення адаптивних механізмів подачі нитки, здатних змінювати її величину залежно від технологічних параметрів. Представлені аналітичні моделі можуть бути використані як база для подальшого проєктування механізмів, які забезпечать надійне з'єднання шарів багатошарових текстильних композицій.

Ключові слова: однопітковий ланцюговий стібок типу 101; подача нитки; швейна машина; синхрограма; розширювач; функція подачі нитки; технологічні параметри стібка; армування наскрізним шиванням; механізм подачі нитки; товщина матеріалу; довжина стібка, поліноміальні функції.

O.P. Manoylenko, D.M. Bezuglyi, V.A. Gorobets, V.S. Puts, A.S. Aliksieievets

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE VALUES OF THE FUNCTIONS OF THE POSITION OF THE WORKING BODIES OF CHAIN STITCH MACHINES OF TYPE 101 AND CONSTRUCTION OF THEIR SYNCHROGRAMS

The paper investigates the process of forming a single-thread chain stitch of type 101 under conditions of variable technological parameters. For the GK-9-2 type sewing machine, the functions of the position of the working bodies - the needle $S(\varphi)$, the gear rack $T(\varphi)$, the expander $L(\varphi)$ and $Z(\varphi)$, the thread feeder $U(\varphi)$, as well as the functions of the actual $P(\varphi)$ and the required $P'(\varphi)$ thread feed per one cycle of rotation of the main shaft - were experimentally determined. Approximation polynomials of the 6th order with a high degree of reliability ($R^2 = 0.998 \div 0.9999$) and an error of no more than ± 0.25 mm or $\pm 1.5^\circ$ in angular coordinates were constructed for all functions.

Comparison of the results obtained by graphical and analytical methods allowed us to verify the models and clarify the key points of interaction between the actuators (gripping the loop and its “stabbing” with the needle). The constructed functions were used to model the stitching process, taking into account changes in material thickness and stitch length, which made it possible to form a generalized synchronization of the machine.

The analysis of the functions $P(\varphi)$ and $P'(\varphi)$ revealed significant discrepancies: at the minimum material thickness and short stitch, the excess of the actual thread feed is 64.4%, and at the maximum values, its shortage reaches 6.2%. The reason is the fixed feed law in the slider mechanism, which does not provide for adjustment.

The obtained results emphasize the feasibility of developing adaptive mechanisms for thread feeding that can change its value depending on technological parameters. The presented analytical models can be used as a basis for further designing mechanisms that will ensure reliable connection of layers of multilayer textile compositions.

Keywords: single-thread chain stitch type 101; thread feed; sewing machine; synchronogram; expander; thread feed function; technological parameters of the stitch; reinforcement by through stitching; thread feed mechanism; material thickness; stitch length, polynomial functions.

Постановка проблем. Сучасні тенденції у галузі створення багатошарових композиційних матеріалів дедалі частіше передбачають використання технологій з механічним армування текстильних преформ за допомогою швейних операцій [1–10]. Одним із перспективних методів такого армування є застосування однопіткових ланцюгових стібків типу 101 [1–7], які забезпечують надійне пошарове закріплення текстильної основи крізь усю її товщину. Завдяки технологічній гнучкості та меншій вибагливості до умов шиття, стібки типу 101 стали актуальними для шивання сухих армованих текстильних преформ, призначених для подальшого просочення полімерами в матрицях.

Проте, застосування відомих швейних машин однопниткового стібка в промислових умовах потребує удосконалення їх механізмів для того, щоб вони були здатні забезпечувати необхідну якість технологічного процесу, зокрема стійкість утворення стібка при зміні його технологічних параметрів: товщини матеріалу, довжини стібка та зусилля затягування нитки. Зміна останніх під час виконання операції ускладнює транспортування матеріалу та вимагає коригування подачі нитки безпосередньо при формуванні стібка. Це, в свою чергу, потребує узгодженої роботи робочих органів (голки, розширювача та зубчастої рейки) машини та регульованої подачі нитки відповідно до умов зшивання, що дозволить мінімізувати відхилення від заданих значень і гарантувати якість з'єднання текстильних армованих елементів.

У цьому контексті актуальними є дослідження закономірностей утворення ланцюгового стібка типу 101 та проєктування механізмів, що забезпечують стабільну роботу при зміні технологічних параметрів. Реалізація таких рішень є важливою передумовою для якісного виготовлення багат шарових текстильних армованих елементів, які застосовуються у виробках з композиційних матеріалів.

Одним із ключових елементів у досягненні зазначеної мети є розроблення механізму подачі нитки, з можливістю миттєвої адаптації під технологічні параметри стібка. Цей механізм зазвичай розробляється на завершальному етапі проєктування машини, тому виникає потреба в узгодженні роботи усіх робочих органів машини та визначенні технологічних факторів, що впливають на формування стібка, зокрема параметрів, які визначають закон і величину необхідної подачі нитки [11].

Метою дослідження є розроблення методики проєктування синхrogram швейних машин ланцюгового стібка типу 101. Методика базується на експериментальному визначенні функцій положення виконавчих органів (голки, розширювача та зубчастої рейки), подальшій апроксимації цих функцій поліноміальними моделями та перевірці їх адекватності шляхом порівняння з фактичними переміщеннями. На основі отриманих моделей передбачається виявлення закономірностей впливу товщини матеріалу й довжини стібка на фазову взаємодію механізмів, що забезпечує підґрунтя для розроблення раціональних функцій дійсної та необхідної подачі нитки і є основою для проєктування механізмів, здатних до адаптації під умови зшивання багат шарових текстильних преформ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання стібка типу 101 у технологіях пошарового з'єднання композиційних пакетів, зокрема при виготовленні текстильних преформ, обумовлено простотою процесу його утворення, економічністю у витраті нитки та здатністю забезпечувати наскрізне армування матеріалу [1-8]. Ці ж переваги роблять його придатним для автоматизованих операцій у виробництві багат шарових конструкцій, що підтверджено у роботах [9, 10].

Разом з тим, дослідження [1, 5, 6] свідчать, що порівняно з двопнитковим стібком типу 401, стібком типу 101 поступається в рівномірності розподілу навантаження, однак характеризується простотою налаштування механізмів та адаптивністю до варіативних умов зшивання.

В літературних джерелах в основному виконаний аналіз багатопниткових ланцюгових стібків класу 400. З метою забезпечення стабільності структури ланцюгових стібків класу 400 у літературі [11, 12] значну увагу приділено впливу зміни регульованих параметрів на функцію дійсної подачі нитки та впливу товщини матеріалів на необхідну подачу нитки в процесі утворення стібка. При цьому встановлено, що значне відхилення функції фактичної подачі нитки від необхідної істотно впливає на якість ниткового з'єднання і його структуру [13, 14]. В аналогічних дослідженнях [15-17] проаналізовано функції дійсної та необхідної подачі нитки, що дозволяє оцінити вплив технологічних параметрів на якість формування ниткового з'єднання. Водночас систематизовані дослідження процесів утворення однопниткового ланцюгового стібка типу 101 практично не представлені в науковій літературі, що ускладнює розроблення відповідних механізмів швейних машин для його реалізації.

Особливість проєктування швейних машин ланцюгового стібка різних типів полягає у побудові синхrogram роботи машин, які дозволяють визначити основні параметри механізмів і робочих органів [15]. Такі циклограми розроблені для типових швейних машин ланцюгового стібка і враховують особливості процесу їх утворення. Синхrogramи, наведені в роботах [15-17], призначені для проєктування швейних машин ланцюгового стібка типів 401 та 402, а визначення параметрів механізмів аналогічних машин з реверсивним переміщенням матеріалу представлено в [17]. Для проєктування спеціальних швейних машин ланцюгового однопниткового стібка типу 101

відповідні синхрограми наведено в роботі [18], для машин потайного ланцюгового стібка типу 103 — у роботах [19–21], а для машин, що утворюють зигзагоподібні стібки, — у роботах [22, 23], зокрема для нових способів їх утворення — у [24–27].

Водночас наявні синхрограми здебільшого використовуються для визначення геометричних параметрів взаємодії робочих органів, зокрема мінімальних ходів, довжини вістря голки, носика розширювача (петельника) тощо, і не враховують впливу змін технологічних параметрів [28]. Відсутність у сучасних дослідженнях аналітичного врахування впливу товщини матеріалів та довжини стібка на синхрограму ускладнює побудову математичної моделі необхідної подачі нитки й розроблення механізмів подачі нитки, здатних забезпечити автоматичне регулювання її величини залежно від умов зшивання багатошарових текстильних матеріалів [29-31].

Відомі методики не дозволяють визначити параметри окремих механізмів швейних машин для утворення однопниткового ланцюгового стібка типу 101, оскільки бракує опису не лише законів руху робочих органів, а відомостей про параметри їхньої взаємодії. Зокрема, для кулачкових механізмів розширювача, що забезпечують його переміщення у поздовжньому та поперечному напрямках, відсутні аналітичні залежності для визначення функцій положення робочих органів, що ускладнює аналіз і синтез цих механізмів. Водночас визначення функцій положення робочих органів у аналітичній формі ускладнене через відсутність точних геометричних характеристик ведучих ланок. Крім того, у наявних джерелах не представлено синхрограм машин зазначеного типу з розширювачем, що має складну просторову траєкторію.

Ці обставини обумовлюють необхідність створення нової методики проектування механізмів швейних машин для утворення однопниткового ланцюгового стібка типу 101, орієнтованої на умови армування багатошарових матеріалів або виготовлення об'ємних текстильних виробів.

Об'єкти та методи дослідження. Об'єктами досліджень були базові машин конструктивного ряду GK-9 (GK9-2, Gk9-10, GK9-18A, GK9-202, GK 9-500, GK9-801, Gk9-886, GK9-890C, GK-9000A), Gk26-1A, GK 35 GK 35-8), GK-3700, KP3000, RG-900D (RZ-668, RG-555) [32, 33], які широко застосовуються на підприємствах легкої й харчової промисловості. Процес виконання ланцюгового стібка на цих машинах здійснюється голкою, зубчастою рейкою розширювачем та механізмом подачі нитки. При цьому механізм розширювача містить два кінематичних ланцюги кулачкового типу і забезпечує просторовий рух розширювачу з вистоем.

У межах дослідження експериментально визначені значення функцій положення робочих органів швейної машини GK-9-2 (рис. 1) при мінімальних і максимальних значеннях технологічних параметрів стібка — товщини матеріалу (m) та довжини стібка (t).

Окрім функцій положення робочих органів, вихідними даними для побудови синхрограми є також характерні моменти процесу утворення стібка та технологічні параметри зшивних матеріалів, які впливають на фазову взаємодію робочих органів механізмів, відповідні значення наведено в таблиці 1.

Табл. 1

Моменти процесу утворення однопниткового ланцюгового стібка

| Поз. | Моменти процесу утворення однопниткового ланцюгового стібка | Значення кута повороту головного валу |
|------------------|---|---------------------------------------|
| φ_0 | Крайнє верхнє положення голки та крайнє правє положення розширювача | 0° (360°) |
| $\varphi_{t.e.}$ | Закінчення транспортування матеріалу | 40° |
| $\varphi_{1,2}$ | Вістря входить в матеріали m_1 та m_2 | $35-40^\circ$ |
| φ_B | Вістря голки виконує «закол» попередньої петлі нитки | 172° |
| φ | Крайнє нижнє положення голки | 180° |
| φ_A | Утворення «петлі напуску» і захоплення носиком розширювача | 220° |
| $\varphi_{t.s.}$ | Початок переміщення матеріалу | 315° |

Функції положення робочих органів визначено шляхом апроксимації експериментальних даних за методикою [34], результати якої наведено в таб. 2.

Для оцінки роботи механізмів подачі нитки визначено діаграми подачі нитки за методикою [11], при граничних значеннях технологічних параметрів стібка, з використанням експериментальної установки на базі швейної машини GK-9-2 (рис. 2, 3).

Табл. 2

Значення поліноміальних моделей функцій положення робочих органів швейної машини GK-9-2 при різних значеннях параметрів стібка

| Поліноміальна модель функції положення робочих органів | Діапазон значень ϕ | Коефіцієнт детермінації |
|---|-------------------------|-------------------------|
| $S(\phi) = 0.0891 \cdot \phi^6 - 0.00438 \cdot \phi^5 + 0.00347 \cdot \phi^4 - 1.33 \cdot 10^{-5} \cdot \phi^3 - 2.06 \cdot 10^{-8} \cdot \phi^2 + 1.26 \cdot 10^{-10} \cdot \phi - 1.12 \cdot 10^{-13}$ | 0-360 | $R^2 = 0,9997$ |
| $Z(\phi) = -5.38 \cdot 10^{-11} \cdot \phi^6 + 7.96 \cdot 10^{-8} \cdot \phi^5 - 4.24 \cdot 10^{-5} \cdot \phi^4 + 0.0102 \cdot \phi^3 - 1.233 \cdot \phi^2 + 67.16 \cdot \phi - 1191.87$ | 60-230 | $R^2 = 0.9978$ |
| $L(\phi) = -8.479 \cdot 10^{-11} \cdot \phi^6 + 9.639 \cdot 10^{-8} \cdot \phi^5 - 4.422 \cdot 10^{-5} \cdot \phi^4 + 1.044 \cdot 10^{-2} \cdot \phi^3 - 1.337 \cdot \phi^2 + 86.005 \cdot \phi - 1944.642$ | 125-265 | $R^2 = 0.9991$ |
| $T(\phi)_{\max} = 6.42 \cdot 10^{-14} \cdot \phi^6 - 1.70 \cdot 10^{-10} \cdot \phi^5 + 1.18 \cdot 10^{-7} \cdot \phi^4 - 2.99 \cdot 10^{-5} \cdot \phi^3 + 2.26 \cdot 10^{-3} \cdot \phi^2 + 3.74 \cdot 10^{-2} \cdot \phi + 0.382$ | 0-360 | $R^2 = 0.9971$ |
| $T(\phi)_{\min} = -1.41 \cdot 10^{-14} \cdot \phi^6 - 4.78 \cdot 10^{-11} \cdot \phi^5 + 4.81 \cdot 10^{-8} \cdot \phi^4 - 1.27 \cdot 10^{-5} \cdot \phi^3 + 6.97 \cdot 10^{-4} \cdot \phi^2 + 4.41 \cdot 10^{-2} \cdot \phi + 0.168$ | 0-360 | $R^2 = 0.9981$ |

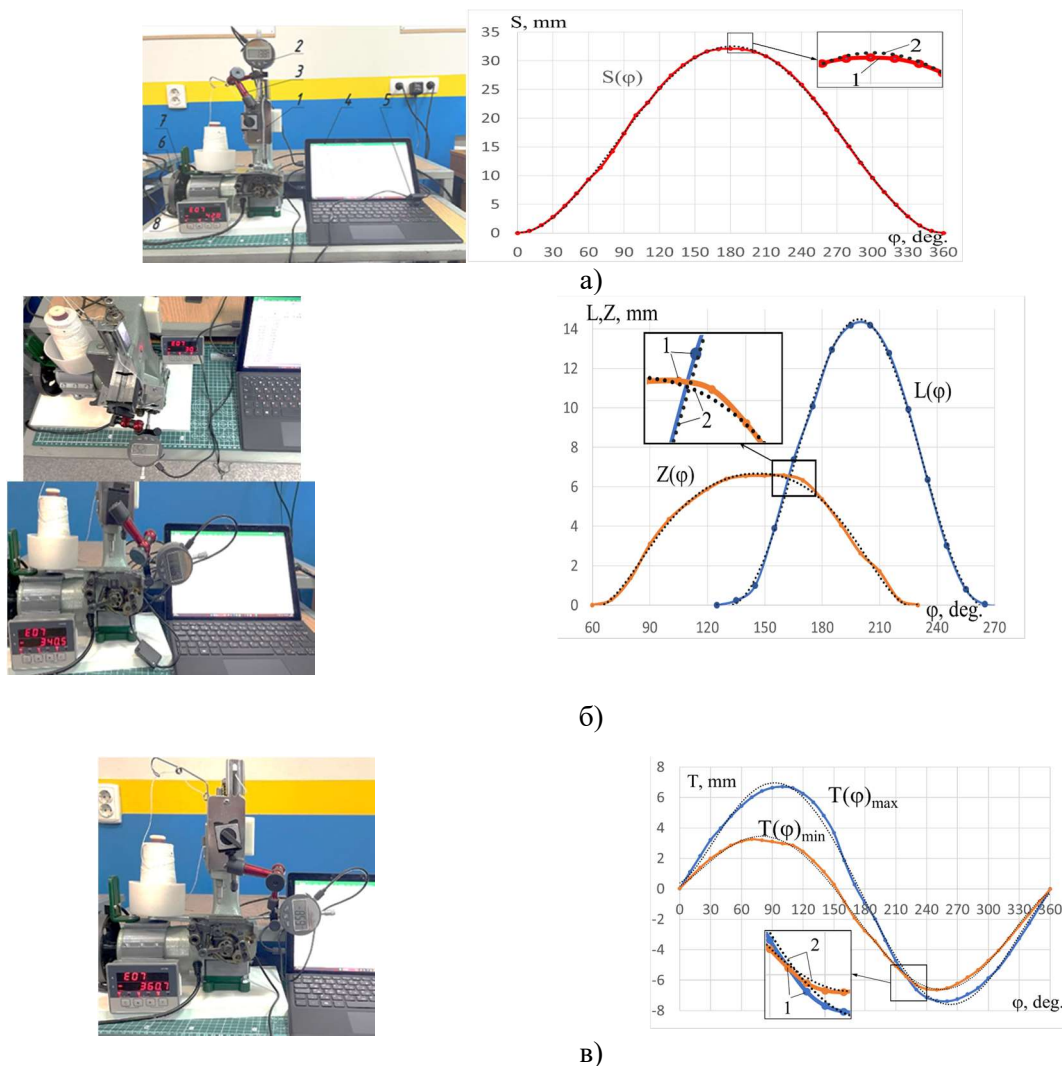


Рис. 1. Експериментальне дослідження функцій положення робочих органів: а – голки $S(\phi)$, б – розширювача вздовж $L(\phi)$ та поперек $Z(\phi)$ строчки, в – рейки вздовж строчки $T(\phi)$, 1 – експериментальні дані, 2 – апроксимовані дані

Синхрограма робочих органів машини GK-9-2 ланцюгового стібка типу 101, що враховує мінімальні і максимальні технологічні параметри машини m та t приведена на рис. 4. Моменти взаємодії робочих органів голки з розширювачем в процесі захоплення «петлі-напуску» та «заколу» відповідно показані на ній точками А та В. На синхрограмі за початкове положення голки прийнято її верхнє крайнє положення (рис. 4). Орієнтацію осі ординат для функції положення голки задано у зворотному напрямку (вниз), що забезпечує коректну відповідність між напрямком руху голки та моментами її взаємодії з матеріалом у фазі проколу.

З метою оцінки точності отриманих значень функцій положення робочих органів визначено кутові положення головного вала машини при параметрах (рис. 4) як аналітичним шляхом — за поліноміальними функціями (табл. 2), так і графічно – за побудованою синхрограмою, отримані значення порівнюються для виявлення узгодженості методів.



1 – швейна машина GK-9-2, 2 – індикатор, 3 – штатив, 4 – персональний комп'ютер (ноутбук), 5 – кнопка, 6 – магнітний маховик, 7 – датчик, 8 – цифровий дисплей для виміру кута повороту головного вала машини

Рис. 2. Експериментальне дослідження функцій подачі нитки: а – дійсної подачі нитки $P(\phi)$, б – необхідної подачі нитки $P'(\phi)$

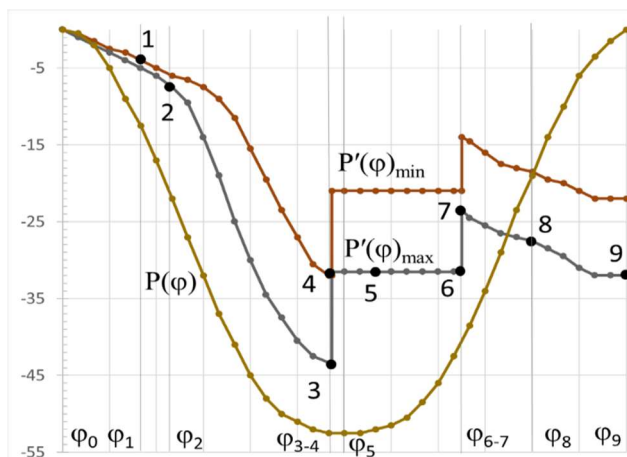


Рис. 3. Діаграми подачі нитки: $P(\phi)$ – дійсної подачі нитки; $P'(\phi)_{\max}$ – необхідної подачі нитки при максимальних $P'(\phi)_{\min}$ та мінімальних $P'(\phi)_{\min}$ значення технологічних параметрів

Розрахункове значення величини переміщення голки в матеріалі $S_{m1,2}$, визначається технологічними параметрами — товщини матеріалу $m_{1,2}$, а також конструктивних параметрів машини (для голки ф. Raly, модель GK9, №230 – $h=8$ мм, геометричні характеристики для швейної машини GK-9-2: $e=4$ мм, $S_t=4$ мм, $a=2$ мм, $c=4$ мм, $\delta_1=1$ мм) [15]:

$$S_m = m + S_A + a + e + \delta_1 + c + h, \quad (1)$$

де: S_A – необхідна величина переміщення голки для утворення «петлі-напуску» ($S_A \approx 3 \text{ мм}$);

Гарантований «закол» голкою попередньої петлі відбувається в момент, коли її вістря перебуває на рівні S_B відносно носика розширювача (рис. 4), і це положення визначається відповідним виразом:

$$S_B = S_A + a + e + h, \quad (2)$$

Зазначений параметр забезпечує розташування вістря голки нижче площини попередньої петлі, яка визначається кутом α та залежить від положення розширювача і довжини стібка t (рис. 4). В цей же час в настановах з експлуатації машини GK-9-2 «закол» гарантується положенням розширювача L_B L_X при його крайньому правому положенні (рис. 4) таким чином щоб відстань від його задньої частини до вісі голки складала 1,5 мм.

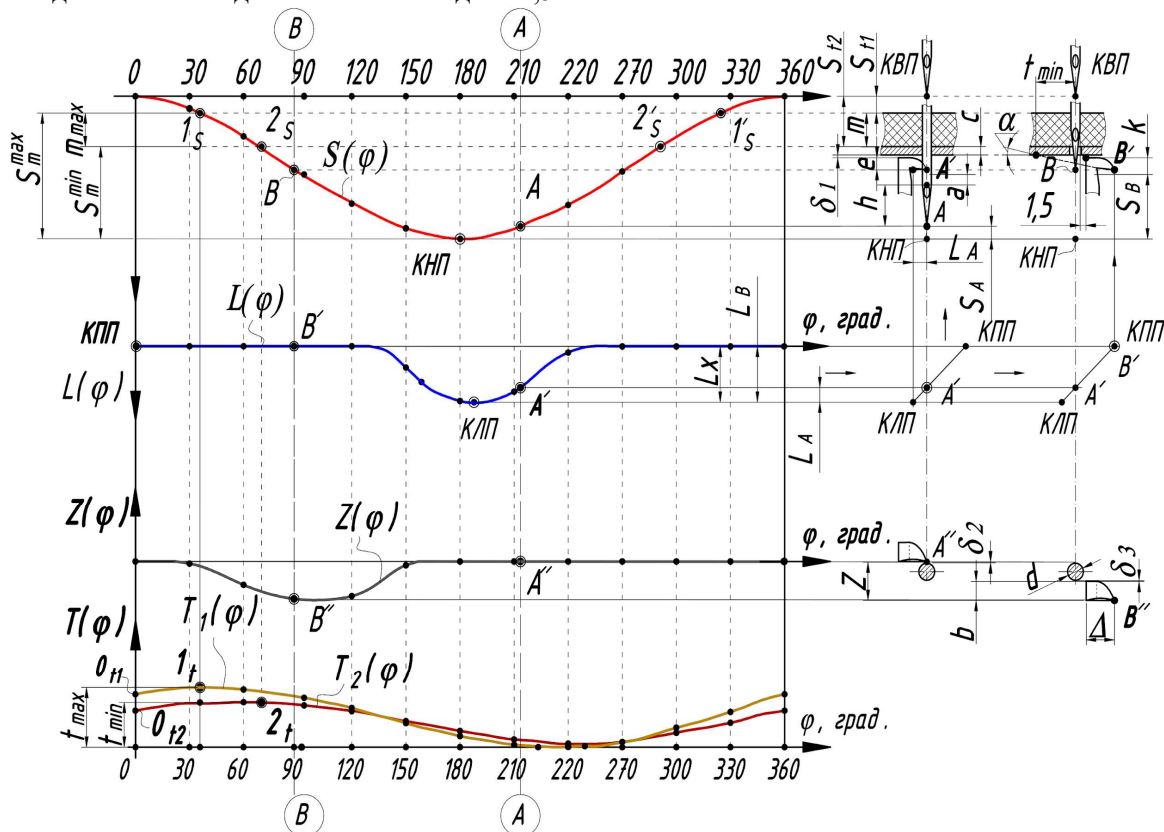


Рис. 4. Синхрограма робочих органів швейної машини GK-9-2 ланцюгового стібка типу 101 з коливним розширювачем

Окрім цього параметри взаємодії розширювача повинні забезпечувати надійне захоплення «петлі-напуску» та «закол» голкою попередньої петлі голкової нитки у характерних точках А та В. Таким чином, параметри взаємодії розширювача вздовж строчки визначається з синхрограми:

$$L(\varphi_A) = L_A = 3,5 \text{ мм}, \quad L(\varphi_B) = L_B = L(\varphi_A) + \Delta + 1,5 \text{ мм}, \quad (3)$$

де: $L(\varphi_B), L(\varphi_A)$ – величина переміщення розширювача відповідно в моменти взаємодії А та В.

$\varphi_{A,B}$ – кути повороту головного вала, що характеризують моменти взаємодії А та В.

Δ – довжина носика розширювача ($\Delta = 7 \text{ мм}$).

В свою чергу положення розширювача поперек строчки характеризується величиною Z_{AB} між миттєвими моментами взаємодії А та В залежить тільки від конструктивних параметрів голки та розширювача і повинен забезпечувати умову:

$$Z_{AB} = d + b + \delta_2 + \delta_3, \quad (4)$$

де d – діаметр голки ($d \approx 2,3 \text{ мм}$);

b – товщина розширювача ($b = 4,0 \text{ мм}$);

$\delta_{2,3}$ – зазор між розширювачем голкою, відповідно моменти взаємодії В та А ($\delta_2 \approx \delta_3 = 0,1 \text{ мм}$).

Визначення моментів взаємодії А і В робочих органів та величини переміщення голки в матеріалі $S_{m1,2}$ при утворенні стібка типу 101 за різних параметрів m і t дозволяє оцінити функціональні характеристики машини GK-9-2.

Параметри $S_{m1,2}$, $S_{1,2}$, $S_{A,B}$, $L_{A,B}$, $Z_{A,B}$, та величини ходів S_x , L_x , Z_x , $T_{x1,2}$ робочих органів синхрограми визначено на основі геометричних характеристик швейної машини, її налаштувань, а також за розрахунками (1–3), відповідні дані узагальнено в таблиці 3. Аналітичне обчислення поліноміальних моделей функцій положення головного вала виконано з використанням чисельного методу в середовищі Microsoft Excel (інструмент Solver) з допустимим відхиленням $\epsilon=10^{-6}$. Така точність гарантує стійкість та збіжність обчислювального процесу в межах вимог до розв’язання нелінійних алгебраїчних рівнянь в інженерних цілях.

Результати обрахунків (моменти процесу утворення стібка: $\varphi_{1,2}$, $\varphi_{A,B}$, $\varphi_{A,B}$, $\varphi_{A,B}$) отримані обома методами, занесено до таблиці 3 з метою їхнього зіставлення та оцінки точності апроксимаційних моделей функцій положення робочих органів.

Табл. 3

Значення параметрів взаємодії робочих органів та величини їхніх ходів

| Розрахункові параметри, мм | S_1 | S_2 | S_A | S_B | L_A | L_B | Z_{AB} | S_x | L_x | Z_x | T_1 | T_2 |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|---------|--------|-------------|-------------|
| | 4,0 | 12,0 | 3,0 | 17,0 | 3,5 | 11,0 | 6,5 | 32,13 | 14,5 | 6,67 | 7,5 | 5 |
| Кутові параметри, град. | φ_1 | φ_2 | φ_A | φ_B | φ_A | φ_B | φ_B | φ_{max} | | | φ_1 | φ_2 |
| Графічно | 36,05° | 68,54 | 219,32° | 84,52° | 220° | 144,15° | 150 | 180° | 189,15° | 150 | 3,67 | 2,249 |
| | 323,93 | 291,46 | | | | | | | | | 3,89 | -2,83 |
| Аналітично | 37,12° | 70,24° | 221,55° | 84,62° | 221,26° | 144,8° | 146,45 | 181,1° | 189,15° | 146,45 | 3,45 | 2,2 |
| | 323,92 | 291,55 | | | | | | | | | -3,71 | -2,83 |
| Відхилення, % | 2,9 | 2,48 | 1,0 | 0,11 | 0,56 | 0,44 | 2,42 | 0,71 | 0 | 2,42 | 0,22 | 1,8 |
| | 0 | 0,03 | | | | | | | | | 0,17 | 0 |

Висновки

1. Аналіз отриманих результатів підтверджує доцільність використання поліноміальних моделей 6-го порядку для аналітичного опису функцій положення робочих органів $S(\varphi)$, $L(\varphi)$, $Z(\varphi)$, $T(\varphi)$ швейної машини типу GK-9-2, оскільки значення коефіцієнту детермінації близький до одиниці $R^2=0,998\div 0,9999$. Актуальність застосування поліноміальних моделей для побудови синхрограм швейних машин однострижкового ланцюгового стібка підтверджена порівнянням результатів графічного (емпіричного) та аналітичного (поліноміального) методів, що дозволило оцінити точність цих моделей. Аналіз результатів величини ходів показав, практично 100% збіжність, з експериментальними значеннями аналітичних даних. Це також підтверджується зокрема, визначення ключових моментів – початку й кінця транспортування матеріалу (φ_1 , φ_2), моментів «заколу» (φ_B) та захоплення петлі-напуску (φ_A) – показало відхилення між методами в межах $0,1^\circ\div 2,9^\circ$, що є прийнятним у рамках інженерної точності. Найбільше відхилення, зафіксоване для кута φ_1 , становить 2,9%, але в абсолютному значенні не перевищує $\pm 1,1^\circ$, що підтверджує доцільність підходів.

2. Аналіз функцій дійсної $P(\varphi)$ та необхідної $P'(\varphi)$ подачі нитки виявив суттєві розбіжності між їх значеннями залежно від технологічних параметрів. При мінімальній товщині матеріалу та довжині стібка дійсна подача $P(\varphi)$ перевищує необхідну $P'(\varphi)$ на 64,4% (52,6 мм проти 32 мм), що призводить до ослаблення ниткового з’єднання. Натомість при максимальних значеннях – дійсна подача на 6,2% менша за необхідну, що може призводити до пропусків стібків. Таке відхилення пояснюється тим, що в механізмі подачі нитки (мод. 1.1.1.3 [35]) конструкцією не передбачено регулювання величиною чи законом подачі нитки. Отримані результати підкреслюють доцільність удосконалення як конструкції механізму подачі нитки

3. Важливо зазначити, що побудовані функції та синхрограма дозволили визначити не лише моменти взаємодії робочих органів, а й величини їхніх ходів для різних комбінацій товщини

матеріалів і довжини стібка. Таким чином, сформовані моделі можуть бути застосовані як основа для побудови автоматичних систем подачі нитки з урахуванням змін технологічних параметрів. Це відкриває перспективи вдосконалення існуючих механізмів, а також розробки нових типів машин, здатних забезпечувати стабільну якість стібків при зшиванні багатонартових текстильних матеріалів.

Література

1. NASA Technical Reports Server. (1997). Handbook of Analytical Methods for Textile Composites. NASA Reference Publication 1370. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/citations/19970017583>
2. Gnaba I, Legrand X, Wang P, Soulat D. Through-the-thickness reinforcement for composite structures: A review. *Journal of Industrial Textiles*. 2018;49(1):71-96. doi:10.1177/1528083718772299
3. Piekłak, Katarzyna. (2024). Directionally Oriented Reinforcements of Warp-Knitted Fabrics for Composite Preforms. *Materials*. 17. 5221. 10.3390/ma17215221.
4. Ogale, Amol & Mitschang, P.. (2004). Tailoring of Textile Preforms for Fibre-reinforced Polymer Composites. *Journal of Industrial Textiles - J IND TEXT*. 34. 77-96. 10.1177/1528083704046949.
5. Orlovskiy, B. V., Manoilenko, O. P., & Bezuhlyi, D. M. (2023). Object-oriented analysis of frame 3D textile structures. *Journal of Engineering Sciences*, 9(1), 1–5. [https://doi.org/10.21272/jes.2023.10\(2\).c4](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).c4)
6. McDonnell, C., Hayes, S., & Potluri, P. (2021). Investigation into the tensile properties of ISO-401 double-thread chain-stitched glass-fibre composites. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 4(2), 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2020.11.001>
7. Wang, X., Li, H., Zhang, Y., Guan, Y., Yan, S., & Zhai, J. (2024). Compressive failure characteristics of 3D four-directional braided composites with prefabricated holes. *Materials*, 17, 3821. <https://doi.org/10.3390/ma17153821>
8. Lee, B., Herszberg, I., Bannister, M. K., & Curiskis, J. I. (1997). The effect of weft binder path length on the architecture of multi-layer woven carbon preforms. *Textile Composites and Characterisation*, 5, 260–269. Available at: https://www.iccm-central.org/Proceedings/ICCM11proceedings/papers/ICCM11_V5_27.pdf
9. Wang, P., Legrand, X., & Soulat, D. (2017). Three-dimensional textile preform using advanced textile technologies for composite manufacturing. In: *Textiles for Advanced Applications*, 161–189. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68175>
10. Fristedt, T. (2012). Novel fiber placement technologies for composite applications. *LayStitch ACCE Conference Proceedings*, 8–14. Retrieved from <https://www.tailoredfiberplacement.com/laystitch-acce-2012.pdf>
11. Манойленко О. П. Розробка механізмів подачі голкової нитки сточувальних машин ланцюгового стібка: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.10 – машини легкої промисловості / О. П. Манойленко. – Київ: КНУТД, 2008. – 24 с.
12. Manoilenko O. (2020). Topological analysis and synthesis of machine chain stitches. *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)*, Vol. 27, № 4, December, 58–69. http://vat.ft.tul.cz/2020/4/VaT_2020_4_8.pdf
13. ISO 4916:1991 Textiles Seam types Classification and terminology
14. DSTU ISO 4915: 2015 Textile materials. Types of seams
15. Пищикова В. О. Проектирование швейных машин [Текст] : навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / В. О. Пищикова, Б. В. Орловський. – Київ: Формат, 2007. – 320 с.
16. Горобець В. А. Аналіз і синтез механізмів голки та петельника машин багатониткового плоского ланцюгового стібка: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.10 – машини легкої промисловості / В. А. Горобець. – Київ: КТІП, 1980. – 20 с.
17. Єгоров В. В. Розробка машини двониткового ланцюгового стібка з реверсивним переміщенням матеріалів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.10 – машини легкої промисловості / В. В. Єгоров. – Київ: КТІП, 1983. – 20 с.
18. Глобенко С. М. Розробка машини для зшивання пакетів з гофрованими середніми шарами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.10 – машини легкої промисловості / С. М. Глобенко. – Київ: КНУТД, 1984. – 20 с.
19. Манойленко О. П. Дослідження процесу ниткоподачі нитки швейних машин потайного однострижкового ланцюгового стібка / О. П. Манойленко, В. А. Горобець // *Технології та дизайн*. - 2011. - № 1 https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/2895/1/td_2011_N1_05.pdf
20. Горобець В. А. Аналіз взаємодії робочих органів швейної машини потайного ланцюгового стібка. Повідомлення 1 / В. А. Горобець, О. П. Манойленко, В. М. Дворжак // *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. – 2010. – Т. 4, № 5. – С. 29–33.

- 21.Горобець В. А. Аналіз взаємодії робочих органів швейної машини потайного ланцюгового стібка. Повідомлення 2 / В. А. Горобець, О. П. Манойленко, В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2011. – № 3. – С. 9–16.
- 22.Машенцев С. В. Розробка петлеутворюючих механізмів машин двониткового ланцюгового зигзаг-стібка: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.10 – машини легкої промисловості / С. В. Машенцев. – Київ: КНУТД, 1985. – 24 с.
- 23.Манойленко О. П. Проектування механізмів швейних машин для реалізації триниткового ланцюгового зигзагоподібного стібка [Текст] / О. П. Манойленко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки". - 2015. - № 6 (92). - С. 91-99.
- 24.Горобець В. А. Новий спосіб утворення плоского ланцюгового стібка та визначення параметрів робочих органів [Текст] / В. А. Горобець, О. П. Манойленко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. - 2016. - № 6 (104). - С. 34-46.
- 25.Горобець В. А. Розробка нових способів утворення багатониткових ланцюгових стібків та обладнання для їх реалізації [Електронний ресурс] / В. А. Горобець, О. П. Манойленко // Технології та дизайн. - 2013. - № 2 (7).
- 26.Горобець В. А. Розробка нових способів утворення машин багатониткових ланцюгових стібків та обладнання для їх реалізації [Текст] / В. А. Горобець, О. П. Манойленко // Технології та дизайн. - 2012. - № 3 (4).
- 27.Спосіб утворення чотирьохниткового плоского ланцюгового стібка: пат. України О.П. Манойленко, В.А. Горобець; заявник та патентовласник «КНУТД». № 76292; від 25.12.12, Бюл. № 24 – 4 с. 4
- 28.Безуглий Д. М., Манойленко О. П. Експериментальне дослідження впливу технологічних факторів стібка на функцію необхідної подачі нитки // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2025) : матеріали тез доповідей XV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 22–23 трав. 2025 р.) : у 2 т. / Нац. ун-т «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: А. Л. Приступа [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2025. – Т. 1. – С. 246–247.
- 29.Горобець В.А., Манойленко О.П. Оптимізаційний синтез механізмів подачі нитки сточувальних машин ланцюгового стібка // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. – № 1. – С. 72–77.
- 30.Manoilenko O., Horobets V., Dvorzhak V., Kovalov Y., I. Kniaziev & Shkvyra V (2023)/ Research of variable parameters of needle thread take-up mechanisms and development of recommendations for adjusting multi-thread chain stitch sewing machines. *Fibres and Textiles*, 30(5), 52-60 <https://doi.org/10.15240/tul/008/2023-5-006>.
- 31.Manoilenko, O., Dvorzhak, V., Horobets, V., & Panasiuk, I. (2024). Assessing the impact of sewing machine thread take-up mechanism parameters on the magnitude and nature of thread take-up. *Engineering Technological Systems*, 6(1) (132), 64–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315129>
- 32.Jinzhifeng (Tianjin) Automation Technology Co., Ltd. (n.d.). Jinzhifeng Automation Technology. Retrieved February 13, 2025, from <http://www.jzf-tj.com/en/>
- 33.HeBei QingGong Sewing Machine Co., Ltd. (n.d.). HeBei QingGong sewing machine Co., Ltd. Retrieved February 13, 2025, from <https://www.qgfr.com/en/>
- 34.Клепко, В. Ю., & Голець, В. Л. (2009). Метод найменших квадратів. У Вища математика в прикладах і задачах (2-ге видання, с. 358). Центр учбової літератури. 594 с.
- 35.Манойленко О.П., Горобець В.А., Дворжак В.М., Писаренко Д.Д., Билик К.А. (2022). Аналітичний огляд та розроблення класифікації механізмів подачі голкових ниток швейних машин ланцюгового стібка. *Технології та інженірінг*, № 4 (9), 35 -47. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.4.3>