

УДК 677.055

ППА Б. Ф., ПЛЕШКО С. А., КОВАЛЬОВ Ю. А.  
Київський національний університет технологій та дизайну

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПРОФІЛІВ КЛИНІВ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН

**Мета.** Удосконалення методу аналітичного проектування раціональних профілів клинів в'язальних машин.

**Методика.** Використані сучасні методи аналітичного проектування раціональних профілів клинів в'язальних машин, що забезпечують безударну взаємодію п'яток голок з клинами в процесі в'язання полотна.

**Результати.** На основі існуючих аналітичних методів проектування раціональних профілів клинів в'язальних машин одержано новий аналітичний метод, що дозволяє отримати раціональний профіль клина, який забезпечує безударне переміщення голки при допустимому куті підйому або опускання. На відміну від існуючих методів, де формулюються вимоги до профілю клина у вигляді умов на переміщення, прискорення і швидкість для характерних точок профілю, в запропонованому методі крім вимог до профілю в окремих його точках, пред'являються вимоги до деяких похідних (зокрема до третьої похідної) на всій ділянці профілю. Використання профілю клина, побудованого за допомогою розробленого методу, забезпечує безударне переміщення голки при припустимій крутизні її підйому або опускання при максимальному прискоренні.

**Наукова новизна.** Розвиток наукових основ та інженерних методів проектування в'язальних машин.

**Практична значимість.** Розробка інженерного методу аналітичного проектування профілів клинів в'язальних машин, що забезпечують безударну взаємодію п'яток голок з клинами.

**Ключові слова:** в'язальна машина, клин в'язальної машини, голка в'язальної машини, безударний клин, аналітичне проектування профілів клинів.

**Вступ.** Особливістю в'язальних машин є ударна взаємодія голок з клинами [1,2]. Одним з методів зниження динамічних навантажень, що сприяє підвищенню надійності роботи в'язальних машин, є розробка раціонального профілю клинів, що забезпечує безударне переміщення голки по клину в процесі в'язання полотна.

Існуючі роботи із синтезу криволінійних профілів клинів можна розділити на дві групи. У першій з них [3-5] пропонується який-небудь основний вид кривої (парабола, циклоїда, синусоїда та ін.) або їхнє сполучення для апроксимації профілю клина. В другій групі [6] формулюються вимоги до профілю клина у вигляді умов на переміщення, прискорення та швидкість для характерних точок профілю. Після чого для апроксимації профілю використовують багаточлени необхідного ступеня. Цей останній підхід представляється більш раціональним, оскільки він гарантує виконання поставлених до профілю клина вимог. Але існуючі методи не можуть повністю задовольнити умову безударної взаємодії голок з клинами.

Тому проблема підвищення надійності та довговічності роботи в'язальних машин шляхом зниження динамічних навантажень в зоні взаємодії голок з клинами є актуальною та своєчасною.

**Постановка завдання.** Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи в'язальних машин шляхом зниження динамічних навантажень в зоні взаємодії голок з клинами, завданням досліджень є удосконалення методу аналітичного проектування раціональних профілів клинів в'язальних машин.

**Результати дослідження.** При удосконаленні методу аналітичного проектування раціональних профілів клинів в'язальних машин авторами розглянуто підхід, який примикає до методу [6] але відрізняється тим, що крім вимог до профілю в окремих його точках, пред'являються вимоги до деяких похідних (зокрема до третьої похідної) на всій ділянці профілю.

Розглянемо профіль кулірного клина в'язальної машини, зображений на рис. 1.

Тут  $Y$  і  $X$  координатні осі з початком у точці  $O$ . Без обмеження спільності вважаємо, що відрізок  $OX_1 = OY_1 = 1$ .

Серед очевидних вимог до профілю відзначимо наступні:

$$y(0) = 1; y(1) = 0; \quad (1)$$

$$y'(0) = 0; y'(1) = 0; \quad (2)$$

$$\left| \max_{x \in [0,1]} y'(x) \right| = y'_{\max} \leq \beta; \quad (3)$$

$$y'''(0) = 0; y'''(1) = 0, \quad (4)$$

де остання умова відповідає вимозі безударності при переході від кулірної частини траєкторії до підйомної.

В умові (3) величина  $\beta > 0$  відповідає максимальній припустимій крутості профілю клина і вважається відомою. Однак вимоги (1)...(4) ще недостатні для того, щоб профіль клина, що задовольняє цим вимогам, був практично прийнятний. Зокрема на рис. 1 штриховою лінією на графіках показані криві, що задовольняють вимогам (1)...(4), але утворюють «хвилястий» профіль клина. Отже, потрібно сформулювати ще таку вимогу до профілю, щоб виключити подібні випадки.

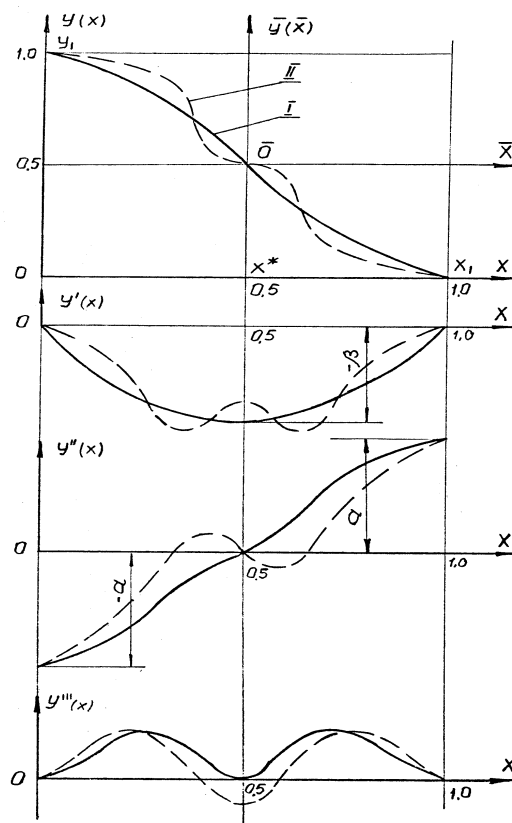


Рис. 1. Бажаний ( I ) і недопустимий ( II ) профілі кулірного клина

Це можна зробити, якщо зажадати, щоб функція  $y'(x)$  для  $x \in [0,1]$  була опуклою функцією. Інакше кажучи для будь-яких двох точок  $x_\alpha \in [0,1]$  і  $x_\beta \in [0,1]$  повинна бути виконана нерівність:

$$y'[(1-\lambda)x_\alpha + \lambda x_\beta] \leq (1-\lambda)y'(x_\alpha) + \lambda y'(x_\beta), \quad (5)$$

де  $0 \leq \lambda \leq 1$ .

Зокрема, функція  $y'(x)$  буде опуклою, якщо задовольнити вимогу:

$$y''(x) \geq 0, \quad x \in [0,1], \quad (6)$$

що і буде передбачатися надалі.

Помітимо, що вимога опуклості кривої  $y'(x)$  гарантує єдиність точки  $x^* \in [0,1]$ ,

для якої: 
$$y'(x^*) = \max_{x \in [0,1]} |y'(x)|. \quad (7)$$

Це означає, що умову (3) можна перевірити тільки в одній точці відрізка  $[0,1]$ , а саме, у точці  $x = x^*$  (тому що в інших точках відповідно до (7)  $|y'(x)| \leq |y'(x^*)|$ ). Крім того, умова (6) сумісна з іншими вимогами (1)...(4) і, зокрема, з останньою з них (4).

Умова (6) означає також, що крива  $y''(x)$  змінюється монотонно, тому максимальні і мінімальні прискорення будуть на відповідних кінцях відрізків  $[0,1]$ .

Як допущення приймаються наступні два твердження:

а) профіль кулірного клина має центр симетрії в точці  $[0,5; 0,5]$ ;

б) профіль підйомного клина, є дзеркальним відображенням профілю кулірного клина відносно прямої  $X = 1$ .

З допущення а) випливає наступне:  $X^* = 0,5$ ; (8)

$$y''(0) = -a; y''(1) = a, \quad (9)$$

де  $a$  – максимальне прискорення на розглянутій ділянці.

З урахуванням (7), (8) умову (3) можна тепер переписати в більш простому виді:

$$y'(0,5) = -\beta. \quad (10)$$

Помітимо, що з (8) у силу необхідної умови максимуму маємо:

$$y''(0,5) = 0. \quad (11)$$

Допущення б) обмежує задачу синтезу раціонального профілю клина розглядом тільки профілю кулірного клина.

Нарешті, наявність центра симетрії по припущенню а) дозволяє розглядати даний профіль як профіль, що складається з двох ділянок – ділянки в другому квадранті (у координатах  $\bar{y}, \bar{x}$  на рис. 1) і йому конгруентної ділянки в четвертому квадранті. У результаті цього задача зводиться до побудови профілю клина тільки на одній з цих ділянок. При цьому в точці сполучення ділянок  $X = 0,5$  природно вимагати:

$$y'''(0,5) = 0, \quad (12)$$

гарантуючи тим самим відсутність ударів при сполученні ділянок профілю клина.

Розглядаючи ділянку профілю, що з'єднує точки  $[0, 1]$  і  $[0,5, 0,5]$  на графіку рис. 1 у координатах  $X, Y$ , остаточно сформулюємо вимоги до профілю клина:

$$y(0) = 1; y(0,5) = 0,5; \quad (13)$$

$$y'(0) = 0; y'(0,5) = -\beta; \quad (14)$$

$$y''(0) = -a; y''(0,5) = 0; \quad (15)$$

$$y'''(0) = 0; y'''(0,5) = 0; \quad (16)$$

$$y'''(x) \geq 0; x \in [0,0,5]. \quad (17)$$

Як буде видно з подальшого, вимогам (13)...(17) можна задовольнити, вибравши як функцію  $y(x)$  поліном шостого ступеня:

$$y(x) = \sum_{i=0}^6 a_i x^i, \quad (18)$$

де  $a_i$  – коефіцієнти полінома, що підлягають визначенню з умов (13)...(17). Зокрема з цих умов на лівому кінці розглянутої ділянки профілю неважко одержати:

$$a_1 = a_3 = 0; \quad a_0 = 1; \quad a_2 = -\frac{1}{2}a. \quad (19)$$

Решта умов приводять до рівнянь:

$$y(0,5) = 0,5 \rightarrow a_4 + 0,5a_5 + 0,25a_6 = 2a - 8; \quad (20)$$

$$y'(0,5) = -\beta \rightarrow 2a_4 + 1,25a_5 + 0,75a_6 = 2a - 4\beta; \quad (21)$$

$$y''(0,5) = 0 \rightarrow 3a_4 + 2,5a_5 + 1,875a_6 = a; \quad (22)$$

$$y'''(0,5) = 0 \rightarrow 12a_4 + 15a_5 + 15a_6 = 0. \quad (23)$$

Тут поки що не врахована умова (17). Розв'язуючи спільно рівняння (20), (21), (22), знаходимо:

$$a_4 = 12a + 40\beta - 120;$$

$$a_5 = -32a - 144\beta + 384;$$

$$a_6 = 24a + 128\beta - 320. \quad (24)$$

Підстановка цих співвідношень в (23) дає залежність максимального прискорення від максимальної крутизни профілю:

$$a = 20 - 10\beta. \quad (25)$$

Як видно, збільшення крутизни  $\beta$  приводить до зменшення максимального прискорення і навпаки. З огляду на те, що  $a > 0$  знаходимо:  $\beta \leq 2$ . (26)

Це максимально припустиме значення крутизни при розглянутому підході до конструювання профілю клина. Однак, тут ще не була врахована остання умова (17).

Диференціюючи (18) тричі, одержимо:

$$y'''(x) = x(24a_4 + 60a_5x + 120a_6x^2). \quad (27)$$

Оскільки  $x \geq 0$ , то вимога (17) еквівалентна умові:

$$24a_4 + 60a_5x + 120a_6x^2 \geq 0. \quad (28)$$

Дискримінант цього тричлена дорівнює:

$$D = 25a_5^2 - 80a_4a_6. \quad (29)$$

Підстановка сюди (24) і (25) дає:

$$D = (4 - 3\beta)^2 \cdot 25 \cdot 16^2 \geq 0. \quad (30)$$

Для коренів тричлена (28) знаходимо:

$$x_{(1)} = \frac{1}{2}; \quad x_{(2)} = \frac{3 - 2\beta}{10 - 7\beta}. \quad (31)$$

При  $a_6 \geq 0$  на ділянці між цими коренями тричлен (28) буде негативний. Тому для виконання умови (28) при  $x \in [0, 0,5]$  потрібно щоб спільно виконувалися наступні дві умови:

$$a_6 = 160 - 112\beta \geq 0; \quad x_{(2)} = \frac{3 - 2\beta}{10 - 7\beta} \geq \frac{1}{2}. \quad (32)$$

Розв'язуючи цю систему, знаходимо: 
$$\frac{4}{3} \leq \beta \leq \frac{10}{7}. \quad (33)$$

Ця нерівність гарантує, що на ділянці  $[0, 0,5]$  третя похідна  $y'''(x)$  буде ненегативна, а значить перша похідна  $y'(x)$  буде мати єдиний екстремум (у точці  $X=0,5$ ).

По співвідношенню (25) можна знайти діапазон максимальних прискорень, що відповідає умові (33): 
$$\frac{40}{7} < a \leq \frac{20}{3}. \quad (34)$$

Таким чином, умови (13)...(17) при апроксимації профілю поліномом (18) можна виконати в діапазоні (33) і (34) зміни параметрів  $\beta$  і  $\alpha$ .

При цьому діапазоні зміни крутизни  $\beta$  буде відповідати інтервал зміни максимального кута підйому (опускання)  $\tilde{\beta}$ , що дорівнює:

$$53^\circ \leq \tilde{\beta} \leq 55^\circ, \quad (35)$$

що можна вважати допустимим. Дійсно, при врахуванні масштабного фактора (для реального профілю  $ox_1 = d \neq oy_1 = h$  (рис. 1)) крутизна  $\beta$  повинна бути помножена на відношення  $h/d$ . Таким чином крутизна реального профілю  $\beta_p$  буде змінюватися в діапазоні:

$$\frac{4}{3} \left( \frac{h}{d} \right) \leq \beta_p \leq \frac{10}{7} \left( \frac{h}{d} \right). \quad (36)$$

При  $\frac{h}{d} \leq 1,1$ , що звичайно має місце на практиці (для круглов'язальних машин типу КО), і при  $\tilde{\beta} = 53^\circ \quad \beta_p \leq 56^\circ$ , що вважається допустимим. Таким чином діапазон (28) варто вважати цілком прийнятним. Співвідношення (24) показує при цьому наскільки можна зменшити максимальне прискорення при збільшенні кута нахилу профілю в межах (33).

Остаточню порядок розрахунку профілю кулірного клина на ділянці  $[0, 0,5]$  можна задати так:

- вибрати значення крутизни  $\beta$  з умови (33);
- знайти відповідне значення цьому обраному  $\beta$  величини максимального прискорення по формулі (25);
- визначити коефіцієнти полінома (18) по співвідношеннях (19) і (24);
- задаючи значення  $x \in [0, 0,5]$ , будемо відповідну ділянку профілю клина по формулі (18).

Для того, щоб приведенний вище порядок розрахунку зберегти і для випадку, коли  $x \in [0,5,1]$ , зручно вести розрахунок профілю в координатах  $\bar{y}$ ,  $\bar{x}$  (рис. 1). У цьому випадку рівняння профілю клина на ділянці  $[-0,5; 0]$  буде:

$$\bar{y}(\bar{x}) = \sum_{i=0}^6 a_i (\bar{x} + 0,5)^i - 0,5; \quad -0,5 \leq \bar{x} \leq 0. \quad (37)$$

Для профілю на ділянці  $[0; 0,5]$  відповідно одержуємо:

$$\bar{y}(\bar{x}) = \sum_{i=0}^6 (-1)^{i+1} a_i (\bar{x} - 0,5)^i + 0,5; \quad 0 \leq \bar{x} \leq 0,5. \quad (38)$$

Алгоритм розрахунку профілю клина відповідає приведеному вище порядку розрахунку, тільки побудова профілю ведеться в координатах  $\bar{y}$ ,  $\bar{x}$ . Для цього замість полінома (18) після обчислення коефіцієнтів  $a_i$ ,  $i = 0, 1, \dots, 6$  використовуються поліноми (37) і (38) на відповідних ділянках.

Для розрахунку крутизни і прискорення варто аналітично знайти вирази для першої і другої похідної із виразів (37) і (38).

Зокрема для (37) одержимо:

$$\bar{y}'(\bar{x}) = \sum_{i=1}^6 a_i i (\bar{x} + 0,5)^{i-1}; \quad (39)$$

$$\bar{y}''(\bar{x}) = \sum_{i=2}^6 a_i i (i-1) (\bar{x} + 0,5)^{i-2}, \quad (40)$$

де  $-0,5 \leq \bar{x} \leq 0$ .

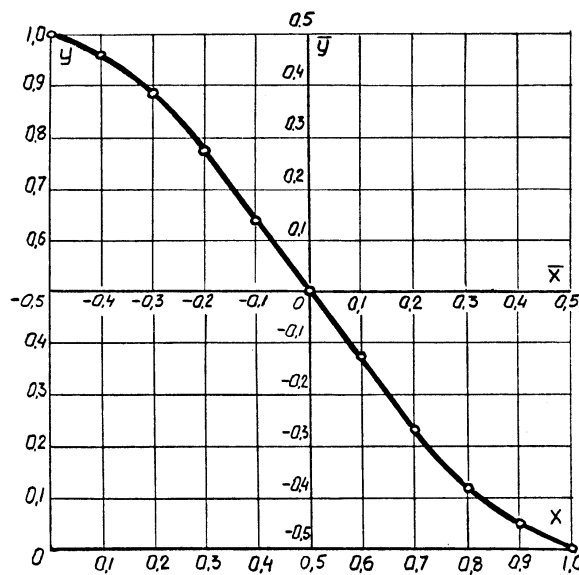
Аналогічно у випадку (38) маємо:

$$\bar{y}'(\bar{x}) = \sum_{i=1}^6 (-1)^{i+1} a_i i (\bar{x} - 0,5)^{i-1}; \quad (41)$$

$$\bar{y}''(\bar{x}) = \sum_{i=2}^6 (-1)^{i+1} a_i i (i-1) (\bar{x} - 0,5)^{i-2}, \quad (42)$$

де  $0 \leq \bar{x} \leq 0,5$ .

Використовуючи запропонований алгоритм за допомогою ПК був отриманий розрахунковий профіль кулірного клина круглов'язальної машини типу КО, що забезпечує безударну взаємодію голки з профілем клина (рис. 2).



**Рис. 2.** Розрахунковий профіль кулірного клина круглов’язальної машини типу КО для  $\beta = 1,333$ ;  $a = 6,667$

У тому випадку, коли  $ox_1 = d \neq oy_1 = h$  (рис. 1) побудований профіль варто розглядати в координатах  $(Y, X)$ . При цьому слід вважати, що значення координати  $Y$  це частки від значення  $h$ , а значення аргументу  $X$  – це частки величини  $d$ .

Зокрема для максимального значення швидкості підйому (опускання) голки маємо:

$$v_u^{\max} = \frac{h}{d} \beta \omega R, \quad (43)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість голкового циліндра машини;  
 $R$  – радіус обертання п’ятки голки.

Аналогічно для максимального значення прискорення одержуємо:

$$W_u^{\max} = \frac{h}{d^2} a \omega^2 R^2. \quad (44)$$

Ці дві формули встановлюють зв’язок величин  $\beta$  і  $a$  з реальними швидкостями і прискоренням голки (точніше з їхніми максимальними значеннями).

Приведені вище розрахунки показують, що запропонований метод аналітичного конструювання профілю клина при його порівняльній простоті досить ефективний. Використання профілю клина, побудованого по розробленій тут методиці, забезпечує безударне переміщення голки при припустимій крутизні її підйому (опускання) і при максимальному прискоренні.

Мінімізація максимального прискорення руху голки і забезпечення її безударного переміщення буде сприяти підвищенню надійності роботи системи клин-голка механізму в’язання при одночасному збільшенні продуктивності машини.

**Висновки.** Приведені вище розрахунки показують, що запропонований метод аналітичного конструювання профілю клина при його порівняльній простоті досить ефективний. Використання профілю клина, побудованого по розробленій тут методиці,



забезпечує безударне переміщення голки при припустимій крутизні її підйому (опускання) і при максимальному прискоренні.

Мінімізація максимального прискорення руху голки і забезпечення її безударного переміщення буде сприяти підвищенню надійності роботи системи клин-голка механізму в'язання при одночасному збільшенні продуктивності машини.

#### Список використаної літератури

1. Хомяк О.Н., Пипа Б.Ф. Повышение эффективности работы вязальных машин. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
2. Пипа Б.Ф., Плешко С.А. Удосконалення робочих органів механізмів в'язання круглов'язальних машин. – К.: КНУТД, 2012. – 470 с.
3. Соловьев Л.И., Гарбарук В.Н. Клинья трикотажных машин, спроектированные по составным законам движения //Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 1967. - № 5. - С. 111-117.
4. Сарксян Ф.В. Профилирование подъемного клина кругловязальных машин КЛК //Машиностроение для легкой промышленности. - М.: ЦНИИТЭИлегпищемаш. - 1974. - Вып. 10. - С. 11-15.
5. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин. - Л.: Машиностроение, 1980. - 472 с.
6. Аналитическое проектирование безударного профиля клина платинного замка кругловязальной машины /Пипа Б.Ф., Боженко В.И.; КТИЛП.- К., 1987.- 8 с. Рус. - Деп. в ЦНИИТЭИлегпищемаш 10.04.87, № 762-мл 87.

#### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ КЛИНЬЕВ ВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН

ПИПА Б.Ф., ПЛЕШКО С. А., КОВАЛЕВ Ю. А.

*Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Совершенствование метода аналитического проектирования рациональных профилей клиньев вязальных машин.

**Методика.** Используются современные методы аналитического проектирования рациональных профилей клиньев вязальных машин, обеспечивающих безударное взаимодействие пяток игл с клиньями в процессе вязания полотна.

**Результаты.** На основе существующих аналитических методов проектирования рациональных профилей клиньев вязальных машин получен новый аналитический метод, позволяющий получить оптимальный профиль клина, обеспечивающий безударное перемещения иглы при допустимом угле подъема или опускания. В отличие от существующих методов, где формулируются требования к профилю клина в виде условий на перемещение, ускорение и скорость для характерных точек профиля, в предложенном методе, кроме требований к профилю в отдельных его точках, предъявляются требования к некоторым производным (в частности к третьей производной) на всем участке профиля. Использование профиля клина, построенного с помощью разработанного метода, обеспечивает безударное перемещения иглы при допустимой крутизне его подъема или опускания при максимальном ускорении.

**Научная новизна.** Развитие научных основ и инженерных методов проектирования вязальных машин.

**Практическая значимость.** Разработка инженерного метода аналитического проектирования профилей клиньев вязальных машин, обеспечивающих безударное взаимодействие пяток игл с клиньями.

**Ключевые слова:** вязальная машина, клин вязальной машины, игла вязальной машины, безударный клин, аналитическое проектирование профилей клиньев.

## **IMPROVEMENT OF METHODS OF ANALYTICAL DESIGN OF RATIONAL PROFILES KLIN V KNITTING MACHINE**

PIPA B.F., PLESHKO S.A. KOVALEV Y.A.

*Kiev National University of Technology and Design*

**Purpose.** Improvement in the method of analytical design of rational profiles wedges knitting machines.

**Methodology.** Modern methods of analytical design of rational profiles wedges knitting machines, providing a shock-free interaction with wedges heels needles in the process of knitting fabric.

**Findings.** On the basis of existing analytical methods of designing rational profiles wedges knitting machines received a new analytical method to get the optimum profile of the wedge that provides shock-free movement of the needle at an acceptable angle of ascent or descent. Unlike existing methods, which are stated requirements of the wedge profile in conditions a displacement, acceleration and speed for the characteristic points of the profile, in the proposed method, in addition to the profile requirements in individual points, to some claim derivatives (in particular to the third derivative ) over the entire section of the profile. Using a wedge profile, built with the help of the developed method provides shock-free movement of the needle when the allowable steepness of its lifting or lowering at maximum acceleration.

**Originality.** Development of scientific principles and methods of engineering design knitting machines.

**Practical value.** Development of engineering method analytical design profiles wedges knitting machines, providing a shock-free interaction with needle heels wedges.

**Keywords:** *knitting machine, knitting machine wedge, needle knitting machine, unstressed wedge design analytical profiles wedges.*