

УДК 677.055.621

ПРОФІЛЮВАННЯ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ПОДАТЛИВОЇ ГРАНІ КЛИНУ  
ШКАРПЕТКОВОГО АВТОМАТУ

Романенко М. К., Березін Л. М., Ключко Є. В.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Розробка методологічного підходу до профілювання складної форми податливої грані клину шкарпеткового автомату на основі метода скінчених елементів з урахуванням геометричних обмежень, вимог за жорсткістю та міцністю, виходячи з мінімізації ударного навантаження на голку.

**Методика.** Використано метод скінчених елементів, програмний комплекс Code\_Aster, положення опору матеріалів з розрахунків на міцність та податливість.

**Результати.** Подальший розвиток прикладної задачі по забезпеченню заданого рівня міцності та податливості клинів з пружною гранню на основі обґрунтованого вибору раціональних параметрів.

**Наукова новизна.** Вперше представлено універсальний підхід до дослідження податливої грані складної форми клину на основі методу скінчених елементів на прикладі клину, конструкція якого забезпечує одночасну балкову і подвійну консольну деформації.

**Практична цінність.** Представлені практичні рекомендації до отримання раціональних геометричних параметрів робочої грані клину за розподілами напружень і прогинів з урахуванням габаритних обмежень. Дослідження податливих граней клину з консолями трапецієдальної форми, які забезпечують рівномірне нормальне напруження по їх довжині, сприяють розширенню конструкторських рішень при проектуванні клинів.

**Ключові слова:** податлива грань клину, міцність, прогин, метод скінчених елементів, трапецієвидна консоль

Шкарпеткові автомати (надалі – ША) – круглов'язальні машини з діаметром голкового циліндру до  $3\frac{3}{4}$  дюйма та з стержньовими елементами (в'язальними голками та селекторами), які рухаються відносно голкового циліндру. Докладна інформація про техніко-економічні та асортиментні вимоги стосовно ША представлена в роботі [1].

Домінуючим впливом на надійність одноциліндрових ША середнього класу є втомлене руйнування гачків в'язальних голок [2]. Тому зменшення ударних навантажень в парі голка-клин в механізмі в'язання – найважливіший фактор в підвищенні експлуатаційної надійності в'язального механізму та ША в цілому. Оскільки колова швидкість циліндру та кут нахилу клину задаються на проектування, а сталість маси голок зумовлена їх стандартним виробництвом, то зменшення ударних навантажень на голку передусім пов'язано із зміною приведеної жорсткості голки.

**Постановка завдання**

До найбільш поширених конструктивних рішень із зниження жорсткості робочої поверхні клину відносять використання закритих наскрізних пазів, які розташовані паралельно робочій поверхні клину. Тому об'єктом досліджень обираємо клин з податливою робочою гранню (надалі – ПРГ) складної форми, конструкція якої передбачає зниження жорсткості введенням двох консольних та поперечної балок (рис. 1).

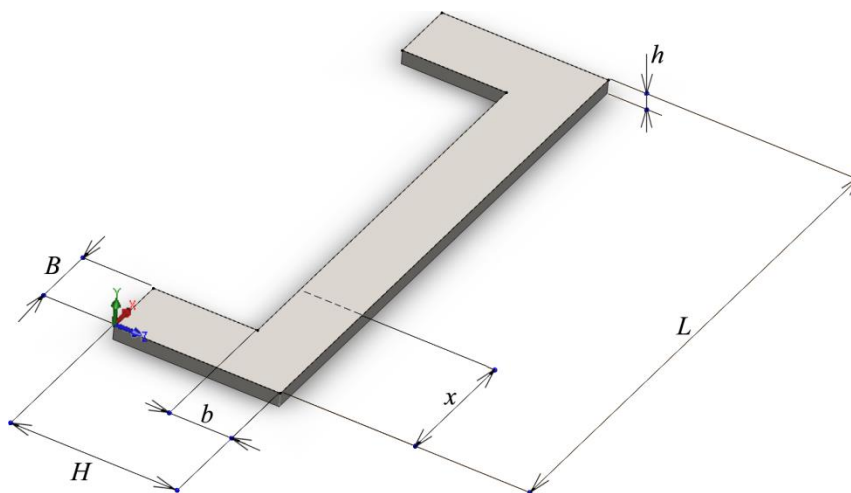


Рис. 1. **Розрахункова схема податливої робочої грані клину:**  $L$  і  $H$  – розміри грані;  $B$  і  $b$  – ширини консолей та поперечної балки;  $h$  – товщина грані;  $x$  – координата лінії взаємодії з голкою

Слід зазначити, що більшість інформації стосовно клинів з ПРГ має конструкторську спрямованість, а їх розрахунки на задану жорсткість та міцність переважно не відображені. Таким чином, метою статті є розробка методологічного підходу методом скінчених елементів до профілювання складної форми податливої грані клинів шкарпеткових автоматів за геометричними обмеженнями та вимогами за жорсткістю та міцністю, виходячи з мінімізації ударного навантаження на голку.

**Результати досліджень**

Складність обчислення геометричних параметрів ПРГ клину передусім пов'язана із сукупністю суперечливих цільових настанов, оскільки зменшення розмірів поперечного перерізу грані призводить до зниження жорсткості в парі та відповідно ударного навантаження, але негативно впливає на напруження в її небезпечному перерізі. Як правило, при проектуванні пружних елементів до прямої задачі відносять вимоги за умовою податливості, а перевірка на міцність є вторинною з необхідним запасом.

Допустимий прогин податливої грані зумовлений утворенням петельних рядів з однаковою довжиною, тому вводять обмеження за максимальною деформацією згину  $v$  ПРГ клину в місці удару виду:

$$v_{max} \leq 0,15 \text{ мм.} \quad (1)$$

Для представленої моделі обмеження за міцністю записують в наступній формі [3]:

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_{-1}}{n}, \quad (2)$$

де  $\sigma_{-1}$  – границя втоми матеріалу;  $n$  – коефіцієнт запасу міцності.

Границя втоми підшипникової сталі ШХ15, яку використовують при виготовленні клинів становить 800 МПа [3]. Враховуючи навантаження з симетричним циклом, вибираємо коефіцієнт запасу міцності  $n = 2,4$  та приймаємо  $\sigma_{max} \leq 333$  МПа.

Враховуючи обмеження за розмірами в в'язальних системах приймаємо  $L=27$  мм та  $H=7$  мм, а параметрами, що управляються, є  $B$ ,  $b$  та  $h$ . Визначення розмірів ПРГ клину виконували при навантаженні  $P = 14$  Н.

Для розв'язку вказаної задачі використовували комп'ютерне моделювання, оскільки точність аналітичного методу [4] в силу певних припущень не відповідає встановленим вимогам, але є достатньою для аналізу впливу геометричних параметрів на величину ударного навантаження. Окрім того, результати комп'ютерного моделювання є більш наочними та усувають більшість припущень, що мають місце при аналітичних рішеннях.

Параметри напружено-деформованого стану ПРГ визначалися варіюванням розмірів клину  $B$ ,  $b$  та  $h$  при виконанні умов (1) та (2). Використовували метод скінчених елементів, головною особливістю якого є можливість моделювання як простих, так і складних тіл за конфігурацією, граничними умовами та навантаженням. Проте варто відмітити, що ступінь ідеалізації об'єкту впливає на достовірність отриманих результатів та трудомісткість розрахунків.

Практичному застосуванню методу скінчених елементів в інженерних розрахунках сприяла поява ряду програмних комплексів, таких як ANSYS Structures, NASTRAN, ABAQUS, використання яких підпадає під платне ліцензування з високою вартістю. Окрім того, ускладнений процес корекції знайдених помилок та доопрацювання коду при розв'язку специфічних завдань. Альтернативним є доступне

інженерне вільне програмне забезпечення, що знаходиться в суспільній власності (наприклад, free software, libre software), тобто відноситься до категорії open source software). Стосовно методу скінченних елементів найбільшу підтримку для інженерних та наукових цілей має програмний комплекс Code\_Aster (Analysis of Structures and Thermomechanics of Studies and Research), включно з розрахунками на міцність.

Параметри ПРГ, які наближені до оптимальних, визначалися за побудованою параметричною моделлю з використанням програмного комплексу Code\_Aster та препроцесору Salome. Для скінченно-елементної моделі ПРГ за базовий вибирали 8-вузловий скінченний об'ємний елемент та використовували впорядковану сітку однакових розмірів.

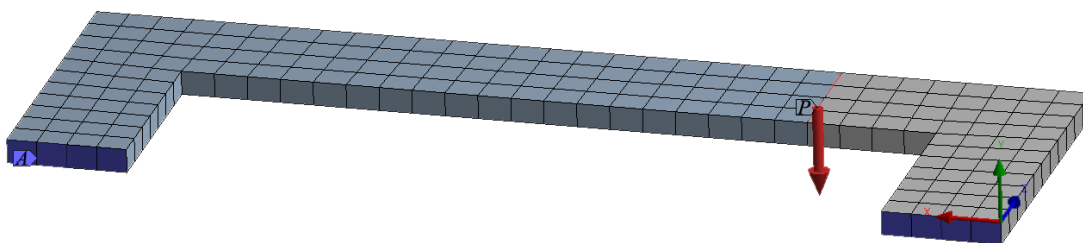


Рис. 2. Скінченно-елементна модель податливої робочої грані клину:  
 $P$  – сила;  $A$  – кореневі поверхні грані

За результатами виконаних обчислювальних експериментів були визначені розподіли еквівалентних напружень та деформацій по грані клину, які представлено на рис. 3 і 4 відповідно, що задовольняють умовам (1) та (2). На рис. 3 максимальні напруження спостерігаються на правій консольній балці клину біля защемлення, а максимальний прогин, що очевидно, припадає на грані в місці взаємодії п'ятки голки. За результатами моделювання отримано раціональні параметри геометрії клину, а саме  $b = 3$  мм,  $h = 0,7$  мм та  $B = 3,3$  мм при сталій товщині пластини  $h = 0,7$  мм. Використання запропонованої конструкції з розрахованими розмірами ПРГ клину гарантує приведену жорсткість  $C = 4,51 \cdot 10^4$  Н/м, що дозволить зменшити навантаження в 1,87 рази в порівнянні з клином без пружної основи.

З аналізу розподілу нормальних напружень вздовж консольних балок (рис. 5) очевидно, що для забезпечення рівного напруження по їх довжині доцільно для мінімізації розміру  $H$  клину використовувати консолі за формою трапеції.



Рис. 3. Розподіл еквівалентних напружень в податливій грані клину



Рис. 4. Розподіл прогинів в податливій грані клину

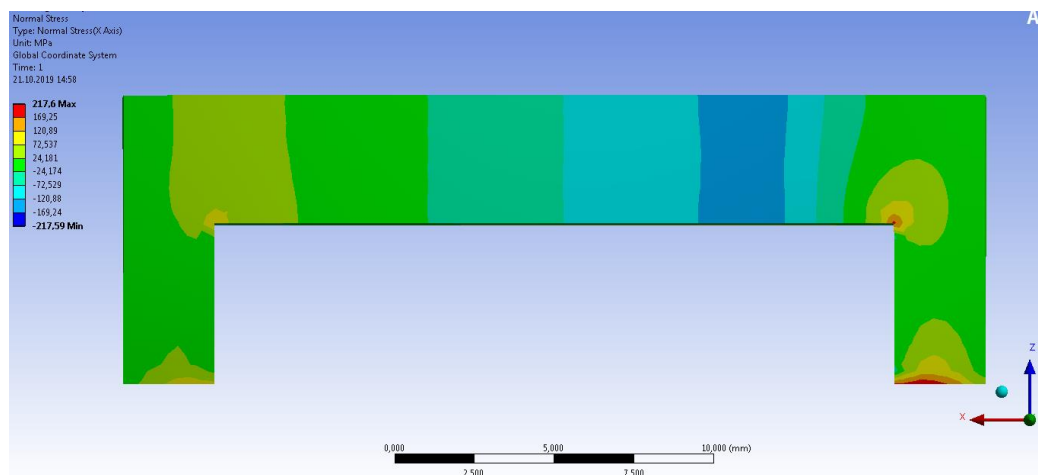


Рис. 5. Розподіл нормальних напружень в податливій грані клину

На рис. 6 та 7 представлено розподіли прогинів та напружень в точках РПГ при використанні трапецієвидних консолей при зміні відношення ширини кінця консолі, який з'єднано з поперечною балкою до кореневої ширини в закріпленні. На рис. 8 та 9 представлено графіки, які отримано моделюванням розмірів РПГ клину при зміні трапецієвидності консольних балок.

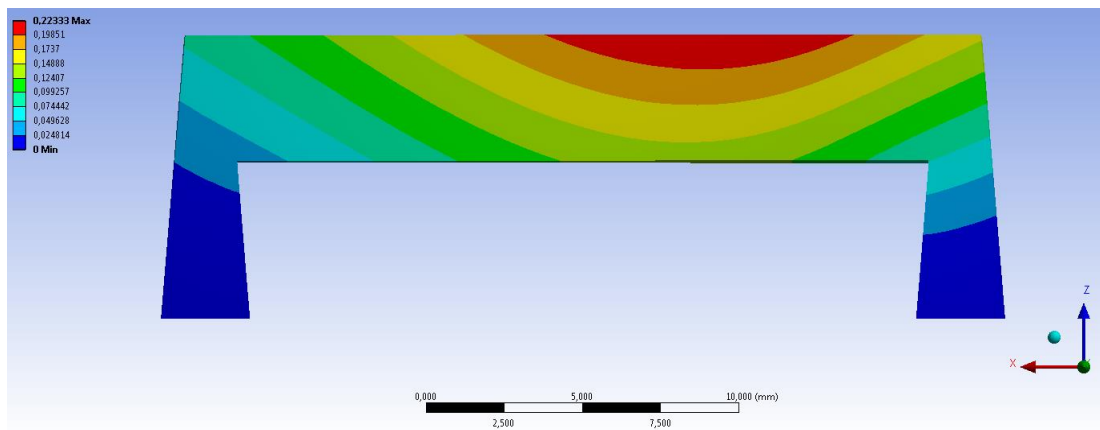


Рис. 6. Розподіл прогинів у податливій грані з трапецієвидними консолями клину

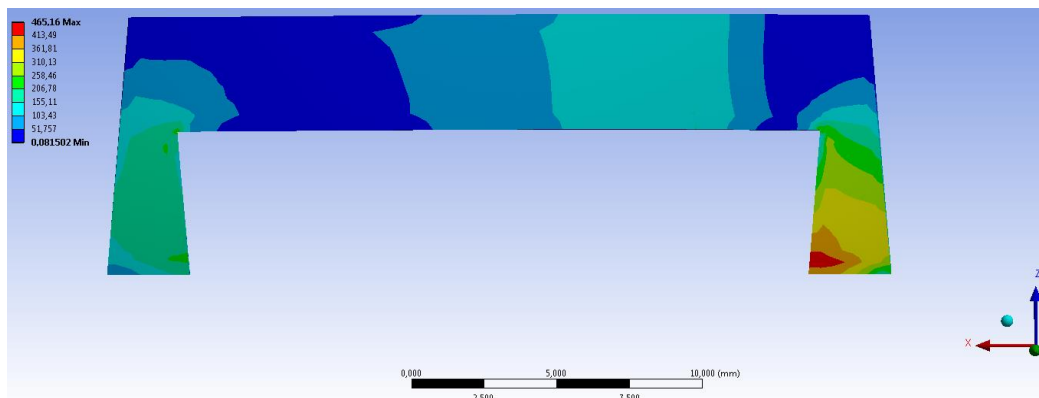


Рис. 7. Розподіл еквівалентних напружень податливій грані з трапецієвидними консолями клину

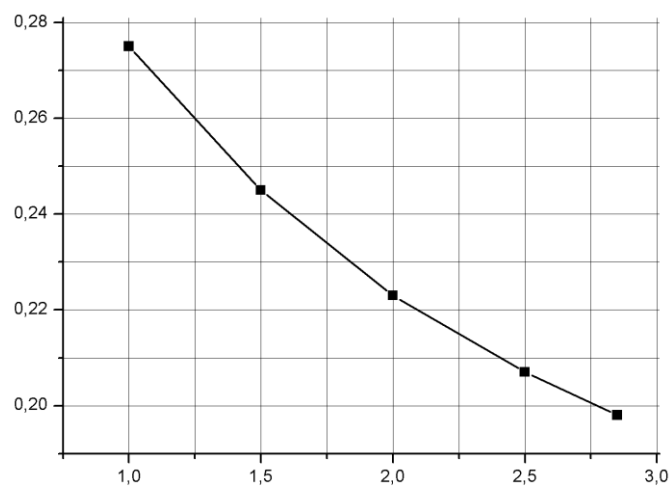


Рис. 8. Вплив на прогин зміни ширини вільного кінця консолі, який з'єднаний з поперечною балкою: по вертикалі – зміна прогину, мм; по горизонталі – зміна ширини вільного кінця, мм

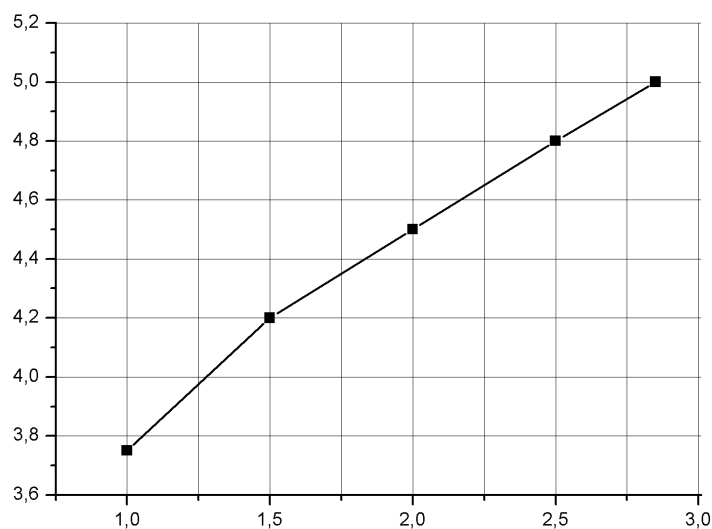


Рис. 9. Вплив на довжину консольної балки зміни ширини вільного кінця консолі при сталому значенні прогину: по вертикалі – зміна довжини консолі, мм; по горизонталі - зміна ширини вільного кінця, мм

### Висновки

Отримано наближені до оптимальних геометричні параметри ПРГ клину, використовуючи результати обчислювальних експериментів для визначення розподілів прогинів та еквівалентних напружень. Застосовано параметричну модель клину, яка базується на методі скінченних елементів та програмного комплексу Code\_Aster. Очевидно, що зміною трапецієвидної форми консольної балки при заданому прогині можна регламентувати її довжину, включно з мінімізацією розміру.

### Список використаних джерел

1. Антонов Г. К. Круглые чулочно-носочные автоматы / Г. К. Антонов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 224 с.
2. Березін Л. М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів: монографія. – К.: КНУТД, 2013. – 191 с.
3. Трошенко В. Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов: Справочник. Ч. 1, 2 / В. Т. Трошенко, Л. А. Сосновский. – К.: Наукова думка, 1987. – 1315 с.
4. Березін Л. М. Розрахунок податливої грані клину панчішних

### References

1. Antonov, H.K. (1984). *Kruhlye chulochno-nosochnye avtomaty* [Round automatic half-hose machine]. *Lehkaia y pyshchevaia promyshlennost*. Moscow [in Russian].
2. Berezin, L.M. (2013). *Otsinka dovhovichnosti ta nadiinosti v'iazalnykh mekhanizmiv panchishno-shkarpetkovykh avtomativ: monohrafiia* [Estimation of the longevity and reliability of knitting mechanisms of hosiery machines: monograph]. Kyiv: National university of technologies & design [in Ukrainian].
3. Troshchenko, V.T., Sosnovskiy, L.A. (1987). *Soprotivlenye ustalosti metallov y splavov: Spravochnyk*. [Resistance to fatigue of metals and alloys: Handbook].

автоматів за заданою рівно надійністю за критерієм міцності/ Л. М. Березін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2013. – № 1 (71). – С. 168–172.

Naukova dumka. (Vols. 1-2; Vol.2). Kyiv [in Russian].

4. Berezin, L.M. (2013). *Rozrakhunok podatlyvoi hrani klynu panchishnykh avtomativ za zadanoi rivno nadiinistiu za kryteriiem mitsnosti* [Calculation of flexibility facet of the cam of sock automats on the set strength reliability] *Visnyk kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu - Bulletin of Kiev National University of Technologies & Design*, Vol. 3, 168–172 [in Ukrainian].

**Romanenko Miroslav**

[Romanen128@ukr.net](mailto:Romanen128@ukr.net)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Berezin Leonid**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2672-6323>

[lrb07@ukr.net](mailto:lrb07@ukr.net)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Klyuchko Evgeny**

[Bigkey@ukr.net](mailto:Bigkey@ukr.net)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

### **Профилирование сложной формы податливой грани клина носочного автомата**

**Романенко М. К., Березин Л. Н., Ключко Е. В.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Разработка методологического подхода к профилированию сложной формы податливой грани клина носочного автомата на основе метода конечных элементов с учетом геометрических ограничений, требований по жесткости и прочности, исходя с минимизации ударного нагружения иглы.

**Методика.** Использован метод конечных элементов, программный комплекс *Code\_Aster*, положения сопротивления материалов касательно расчетов на прочность и податливость.

**Результаты.** Дальнейшее развитие прикладной задачи по обеспечению заданного уровня прочности и податливости клиньев с упругой гранью на основе обоснованного выбора рациональных параметров.

**Научная новизна.** Впервые представлен универсальный подход к исследованию податливой грани сложной формы клина на основе метода конечных элементов на примере клина, конструкция которого обеспечивает одновременную балочную и двойную консольную деформации.

**Практическая ценность.** Представлены практические рекомендации для выбора рациональных геометрических параметров рабочей грани клина по распределениям напряжений и прогибам с учетом габаритных ограничений. Исследования податливых граней клина с консолями трапецевидной формы, которые



обеспечивают равномерные нормальные напряжения по их длине, содействуют расширению конструкторских решений при проектировании клиньев.

**Ключевые слова:** податливая грань клина, прочность, прогиб, метод конечных элементов, трапецевидная консоль

***Profiling the complex shape of the flexibility facet of the cam of automatic half-hose machine***

**Romanenko M. K., Berezin L. N., Klyuchko E. V.**

*Kiev National University of Technologies & Design*

**Purpose.** Development of a methodological approach to profiling the complex shape of the flexibility facet of the cam of automatic half-hose machine based on the finite element method, taking into account geometric constraints, requirements for rigidity and strength, based on minimizing the impact loading of the needle.

**Methodology.** The finite element method was used, the Code\_Aster software package, the positions of the resistance of materials regarding strength and flexibility calculations.

**Findings.** Further development of the applied task of ensuring a given level of strength and flexibility of cams with an elastic face based on a reasonable choice of rational parameters.

**Originality.** For the first time, a universal approach to the study of the flexibility facet of a complex cam shape based on the finite element method is presented on the example of a cam, the design of which provides simultaneous beam and double cantilever deformations.

**Practical value.** Practical recommendations are presented for choosing rational geometric parameters of the cam face on stress distributions and deflections, taking into account overall limitations. Studies of flexibility facet of a cam with trapezoidal consoles that provide uniform normal stresses along their length, contribute to the expansion of design solutions in the design of cams.

**Keywords:** flexibility facet of the cam, strength, deflection, finite element method, trapezoid console