

УДК 685.34.01

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.2.13>

М.М. ЛЕЩИШИН

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID:0000-0003-1497-0094

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРИПАСУВАННЯ МАКЕТА ВЗУТТЯ ДО СТОПИ

В умовах сьогодення актуальним питанням є виробництво ексклюзивних одиничних виробів за індивідуальним замовленням, які підкреслюють статус замовника, його характер і вподобання. Завданням сучасних невеликих приватних взуттєвих компаній, які спеціалізуються на виробництві взуття за індивідуальним замовленням є дослідження підготовчого і основного процесів виробництва взуття, а саме: обміру стоп, макетування моделі виробу з різних матеріалів, проектування або коригування взуттєвої колодки, формоутворення виробу під час затягування взуття на колодку тощо.

Пізнання взуття як об'єкту дослідження з точки зору фактичної комфортності може бути оцінене на основі відчуття та сприйняття безпосередніми споживачами. Тобто сприйняття взуття споживачем можна розглядати як цілісний образ або об'єктивно-суб'єктивну оцінку взуття, що містить в собі сукупність властивостей, які отримує індивід за допомогою чуттєвих органів.

Досліджено математичну модель процесу припасування верху макета-трансформера взуття за індивідуальним замовленням до стопи замовника в антропометричній зоні підйому стопи.

Використано фундаментальні положення технології взуттєвого виробництва, теоретико-аналітичні методи, методи графічного моделювання.

За допомогою математичної моделі процесу припасування макета до стопи досліджено відносну деформацію стискання стопи в зоні підйому. На основі порівняльного аналізу аналітична і експериментальні залежності тиску від затяжки робочої частини застібки є прийнятними. Дане дослідження дає можливість дослідити суб'єктивні відчуття комфорту стопи у взутті, і спрогнозувати забезпечення виготовлення високої якості взуття закритого типу за індивідуальним замовленням.

Досліджена математична модель припасування шаблону в окремій зоні стопи за допомогою макета-трансформера взуття.

За встановленими принципами розрахункові параметри тиску близькі до аналітичних, що узгоджує коректність математичної моделі процесу припасування шаблону до стопи.

Ключові слова: математична модель, взуття, модуль пружності, стопа, зона підйому.

М.М. ЛЕЩИШИН

Київський національний університет технологій та дизайну
ORCID:0000-0003-1497-0094

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОДГОНКИ МАКЕТА ОБУВИ К СТОПЕ

В современных условиях актуальным вопросом является производство эксклюзивных единичных изделий по индивидуальному заказу, которые подчеркивают статус заказчика, его характер и предпочтения. Задачей современных небольших частных обувных компаний, специализирующихся на производстве обуви по индивидуальному заказу, является исследование подготовительного и основного процессов производства обуви, а именно: обмера стоп и макетирование модели изделия из различных материалов, проектирования или корректировка обувной колодки, формообразования изделия во время затяжки обуви на колодку и тому подобное.

Познание обуви как объекта исследования с точки зрения фактической комфортности может быть оценено на основе ощущения и восприятия непосредственными потребителями. То есть восприятие обуви потребителем можно рассматривать как целостный образ или объективно-субъективную оценку обуви, содержащую в себе совокупность свойств, которые получает индивид посредством чувственных органов.

Исследована математическая модель процесса подгонки верху макета-трансформера обуви по индивидуальному заказу к стопе заказчика в антропометрической зоне подъема стопы.

Использованы фундаментальные положения технологии обувного производства, теоретико-аналитические методы, методы графического моделирования.

С помощью математической модели процесса подгонки макета к стопе исследовано относительную деформацию сжатия стопы в зоне подъема. На основе сравнительного анализа аналитическая и экспериментальные зависимости давления от затяжки рабочей части застежки приемлемы. Данное исследование дает возможность исследовать субъективные ощущения комфорта

стопы в обуви, и спрогнозировать обеспечение изготовления высокого качества обуви закрытого типа по индивидуальному заказу.

Исследована математическая модель подгонки шаблона в отдельной зоне стопы с помощью макета-трансформера обуви.

По установленным принципам расчетные параметры давления близки к аналитическим, что согласовывает корректность математической модели процесса подгонки шаблона к стопе.

Ключевые слова: математическая модель, обувь, модуль упругости, стопа, зона подъема.

M.M.LESCHISHIN

Kyiv National University of Technology and Design

ORCID:0000-0003-1497-0094

MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF FITTING THE SHOE MODEL TO THE FOOT

In today's conditions, the topical issue is the production of exclusive individual products to individual order, which emphasize the status of the customer, his character and preferences. The task of modern small private shoe companies specializing in the production of custom-made shoes is to study the preparatory and basic processes of shoe production, namely: measuring the feet and layout of the product model of different materials, design or adjustment of shoe pads, shaping the product while tightening shoes. pad, etc.

Knowledge of footwear as an object of study in terms of actual comfort can be assessed on the basis of sensation and perception by direct consumers. That is, the consumer's perception of shoes can be considered as a holistic image or objective-subjective assessment of shoes, which contains a set of properties that an individual receives through the senses.

The mathematical model is investigated of the process of fitting the top of the model-transformer of shoes by individual order to the customer's foot in the anthropometric zone of the foot lift.

The fundamental provisions of the technology of shoe production, theoretical and analytical methods, methods of graphic modeling are used.

The relative deformation of the foot compression in the lifting zone was investigated using a mathematical model of the process of fitting the model to the foot. On the basis of the comparative analysis analytical and experimental dependences of pressure on an inhaling of a working part of a fastener are satisfactorily coordinated. This study provides an opportunity to explore the subjective feelings of foot comfort in footwear, and to predict the provision of high quality indoor shoes to individual order.

The mathematical model of fitting of a template in a separate zone of foot by means of the model-transformer of footwear is investigated.

According to the established principles, the calculated pressure parameters coincide with the analytical ones, which agrees with the correctness of the mathematical model of the process of fitting the template to the foot.

Key words: mathematical model, footwear, modulus of elasticity, foot, lifting zone.

Постановка проблеми

Можливість нижніх кінцівок безперешкодно здійснювати повноцінні рухи при ходьбі у взутті - одне з головних вимог комфортності і якості взуттєвих виробів. Ідеально комфортним взуттям можна назвати таке, в якому біомеханічні показники нижніх кінцівок при русі будуть ідентичні показникам при русі без взуття. Створення комфортного взуття - складна інженерна задача, оскільки при проектуванні потрібно враховувати не тільки параметри стопи в статиці, а й у динаміці [1]. Необхідність носіння комфортного взуття завжди було актуальним питанням для споживача, проте в умовах масового фабричного виробництва не завжди вдається задовольнити критерії комфорту взуття для кожного користувача у зв'язку з індивідуальними особливостями будови та біомеханічних характеристик його стопи. Для збереження природньої анатомічної побудови стопи у її задовільному функціонуванні, необхідно забезпечити зручність та захистити стопу від зовнішнього середовища в процесі експлуатації взуття.

Стопа людини є одним з важливих елементів опорно-рухового апарату і має складну структуру. Вона складається з 28 кісток, 56 зв'язок, які утримують кісткові структури в правильному положенні і 38 м'язів забезпечують роботу стопи. Вона здійснює контакт з опорою, перерозподіляє силу реакції опори на вище розташовані сегменти і виконує важливу ресорну функцію, стопа забезпечує стійкість нижньої кінцівки і зчеплення з опорною поверхнею. Здатність стопи протистояти навантаженням обумовлена не тільки біомеханічної досконалістю, а й властивістю складових її тканин.

Пружність стопи обумовлена індивідуальними анатомічними і функціональними особливостями, детермінованими генетичними і статевими факторами, і мінливими під впливом множинних зовнішніх факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Багато авторів досліджували модуль пружності тканин стопи, з аналізу робіт в нормі щільність кісткової тканини дорівнює 2 400 кг/м³, модуль Юнга (E) = 2000МПа, ліміт міцності при розтягуванні $\sigma = 100$ МПа, відносна деформація досягає 1 %, модуль Юнга сухожилля – 160 МПа. Матеріал колаген характеризується значенням Юнга 10-100МПа, а еластин – 0,5 МПа [2].

Wright D.G. та Rennels D.C. вперше визначили модуль пружності підшовного апоневрозу, який склав 342 - 822 МПа [3]. Для порівняння ці значення знаходяться в межах 50 МПа - 1500 МПа, приведених для сполучної тканини інших локалізацій, досліджених *in vitro*; перевищують модуль пружності фасціальних і зв'язкових структур стопи і гомілки [4,5,6].

Жирова тканина опорної поверхні стопи має унікальну будову, що обумовлено тим навантаженням, якого зазнає стопа при ходьбі. Амортизаційна здатність жирового прошарку в цій ділянці людського тіла обумовлена його товщиною, розмірами та формою жирових часток, розвитком фіброеластичного каркасу, що міцно зв'язує дерму плантарним апоневрозом та окістям надлеглих кісток [7].

Основною механічною характеристикою жирової тканини плантарної поверхні стопи є модуль пружності (модуль Юнга), який в нормі становить 1,076-1,364 кгс·см² [8].

Дослідники Перепьолкін А. І., Мандріков В. Б., Краюшкин А. І, Атрощенко Е. С. досліджували механічні властивості здорових стоп хлопців та дівчат. У даній роботі розглядалася пружна деформація стопи у вертикальній площині. В нормі модуль пружності стопи у хлопців дорівнює 616,9 кПа; у дівчат модуль пружності становить 601,2 кПа [9].

Авторами Hashemi J., Chandrashekar N., Mansouri H. виявлено, що збільшення ригідності тканини у осіб чоловічої статі відзначається за рахунок посилення синтезу колагену, а зменшення пружності у жінок детерміновано меншою кількістю волокон, їх діаметром і відносною кількістю колагену в кожному волокні зв'язок їх стопи [10].

Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз замовлень з індивідуального пошиття взуття показав, що при коригуванні параметрів колодки по індивідуальним параметрам стопи і примірці прототипу взуття, замовники найчастіше відчують певні відчуття дискомфорту у зоні підйому стопи. Для індивідуального пошиття комфортного взуття потрібно більш прискіпливо визначати параметри стопи людини і прийнявши їх за основу, відштовхуватися від побажань конкретного замовника. Адже від правильно підібраного взуття залежить комфорт і безпека нижніх кінцівок при ходьбі та фізичній активності.

Для оцінки рівня комфорту взуття важливою є довжина затягування застібки верху макета на стопу людини в області підйому. Розрахункова схема для визначення цього тиску наведена на рис. 1.

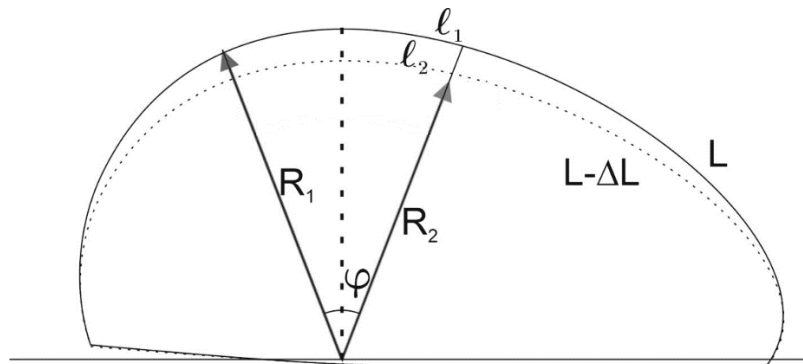


Рис. 1. Припасування макета до стопи в точці підйому

Припустимо, що тиск між стопою і верхом на границі розподілу дорівнює напруженням стискання в поверхневих шарах стопи. Тоді величина тиску, згідно Закону Гука:

$$P = k_1 E_1 \varepsilon. \quad (1)$$

де E_1 – модуль пружності стопи; k_1 – коефіцієнт, який враховує пружні властивості стопи замовника; ε – відносна деформація стопи.

Відносна деформація стискання стопи в зоні підйому може бути представлена у вигляді:

$$\varepsilon = \frac{R_1 - R_2}{R_1}. \quad (2)$$

де R_1 і R_2 – зовнішній радіус зони деформації стопи до - і після стиснення відповідно.
Згідно з властивостями сегмента кола:

$$R_1 \varphi = l_1. \quad (3)$$

$$R_2 \varphi = l_2. \quad (4)$$

де φ – центральний кут сегмента перерізу стопи в зоні деформації; l_1, l_2 – довжина сегмента верху до - і після стиснення відповідно.

З урахуванням (2), (3) і (4) відносна деформація стиснення буде:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_2}{l_1}. \quad (5)$$

Довжина сегмента верху після затягування застібки, з урахуванням її деформації буде:

$$l_2' = l_2 + \Delta l_2. \quad (6)$$

де Δl_2 – подовження застібки.

Подовження застібки визначиться із співвідношення:

$$\frac{\Delta l_2}{l_2} = \frac{\sigma}{E_2}. \quad (7)$$

де σ – напруження розтягання, які діють в застібці; E_2 – модуль пружності застібки.

З виразу (7) маємо:

$$\Delta l_2 = l_2 \frac{\sigma}{E_2}. \quad (8)$$

Підставляючи (7) в (8), після перетворень отримаємо:

$$l_2' = l_2 \left(1 + \frac{\sigma}{E_2} \right). \quad (9)$$

Підставляючи (9) в (5), отримаємо:

$$\varepsilon = 1 - \frac{l_2}{l_1} \left(1 + \frac{\sigma}{E_2} \right). \quad (10)$$

Підстановка (10) в (1) дає:

$$P = k_1 E_1 \left[1 - \frac{l_2}{l_1} \left(1 + \frac{\sigma}{E_2} \right) \right]. \quad (11)$$

Розтягуюче напруження в застібці виразимо за допомогою формули для визначення колових напружень в циліндричній оболонці, яка для нашого випадку матиме вигляд:

$$\sigma = \frac{k_2 PR_1}{h}. \quad (12)$$

де k_2 – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу тиску по поверхні стопи; h – товщина застібки.

Підставляючи (12) в (11), маємо:

$$P = k_1 E_1 \left[1 - \frac{l_2}{l_1} \left(1 + \frac{k_2 PR_1}{E_2 h} \right) \right]. \quad (13)$$

Вирішуючи рівняння (13) відносно P , отримаємо:

$$P = \frac{1 - \frac{l_2}{l_1}}{\frac{1}{k_1 E_1} + \frac{l_2}{l_1} \frac{k_2 R_1}{E_2 h}}. \quad (14)$$

При затягуванні застібки довжина перетину верху взуття зменшується на величину ΔL . Припустимо, що довжина перетину сегмента верху, який прилягає до зони деформації стопи зменшиться на величину $l_1 - l_2$ відповідно до пропорції:

$$\frac{l_1 - l_2}{l_1} = \frac{\Delta L}{L}. \quad (15)$$

З (15) слідує:

$$\frac{l_2}{l_1} = 1 - \frac{\Delta L}{L}. \quad (16)$$

Підставляючи (16) в (14), отримаємо:

$$P = \frac{\Delta L}{\frac{L}{k_1 E_1} + \frac{k_2 R_1}{E_2 h} (L - \Delta L)}. \quad (17)$$

Вираз (17) дозволяє визначити величину тиску на стопу в місці підйому, що впливає на відчуття рівня комфорту взуття.

Для перевірки коректності математичної моделі процесу припасування макета до стопи проводилося експериментальне дослідження з використанням макета-трансформера, зображеного на рис. 2, сутність якого полягає у визначенні залежності тиску в зоні підйому від довжини затягування застібки.

Макет являє собою заготовку верху закритого взуття зі шкіри, з шкіряним підкладом, затягнуто на чоловічу взуттєву колодку розміром 275мм, до якої приклеєна тонка, плоска підшва з каблукіом 25мм. Макет-трансформер взуття складається з 7 застібок, на яких відмічена шкала довжиною від 70-100мм, кожна з яких розміщена у відповідних місцях: 5 - найвища точка висоти берця напівчеревики (від т.С +70мм ввєрх по центру гребеня); 6 - на прямому підйомі (0,55Дст); 7 - точка кальцати т.С (центр лінії внутрішнього та зовнішнього пучків (кальцата)); 8 - середина стопи з зовнішнього боку (0,5Дст); 9 - точка зовнішнього пучка (0,68Дст); 10 - середина стопи з внутрішнього боку (0,5Дст); 11 - точка внутрішнього пучка (0,72Дст), 12 – мікроконтролер Arduino UNO, 1 – зона резистивного датчика у точці прямого підйому стопи, 2 – зона резистивного датчика у точці зовнішнього пучка стопи, 3 – зона резистивного датчика у точці внутрішнього пучка стопи, 4 – зона резистивного датчика у точці висоти п'ятки стопи.

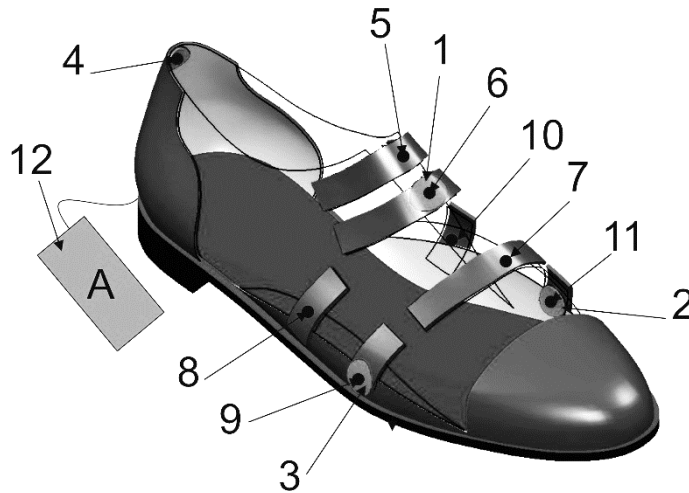


Рис. 2. Макет-трансформер взуття

Результати експериментів наведені у табл. 1

Таблиця 1

Оцінка комфортності взуття за допомогою фіксації макета-трансформера на стопі в стані стояння

Фіксація макета на нозі:	Вільно припасовано	Припасовано	Щільно припасовано	Дуже щільно
Довжина робочої частини: застібки А, мм	39,0	34,0	31,0	28,0
застібки В, мм	39,0	34,0	30,0	29,0
застібки С, мм	26,0	22,0	19,0	17,0
застібки D, мм	26,5	22,0	20,0	17,5
застібки E, мм	26,5	20,0	17,0	15,5
застібки F, мм	25,0	22,0	20,0	17,0
застібки G, мм	25,0	20,0	17,0	15,5
Відчуття комфорту, бали	80	90	100	60
Тиск в точці виміру 1, Па	2944,4	8269,5	10491,2	16227,9
Тиск в точці виміру 2, Па	2540,7	7475,3	8869,9	14544,8
Тиск в точці виміру 3, Па	2221,8	7224,5	9645,0	15070,2
Тиск в точці виміру 4, Па	1861,1	4964,3	8209,1	13259,7

Аналітична, розрахована за виразом (17), і експериментальна графічні залежності тиску в точці виміру 1 від довжини затягування застібки А наведені на рис. 3.

В розрахунках прийняті такі початкові дані:

$$L = 220 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$R_1 = 70 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

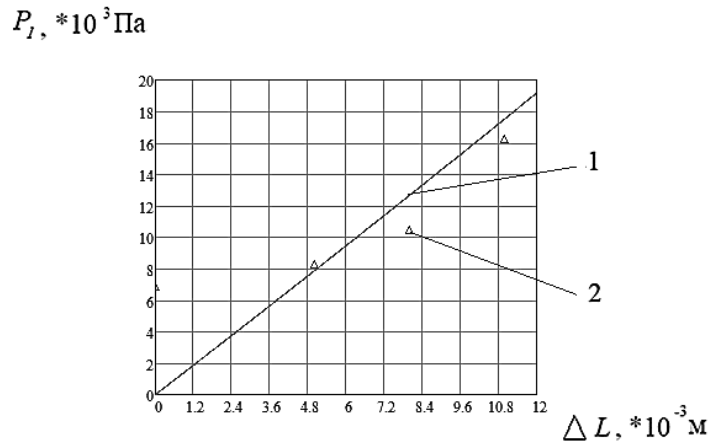
$$h = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$E_1 = 616,9 \cdot 10^3 \text{ Па};$$

$$k_1 = 1,05 \text{ Па};$$

$$k_2 = 1,23.$$

Як видно з рис. 3 аналітична і експериментальна залежності є прийнятними, що дозволяє зробити висновок про коректність математичної моделі припасування шаблону до стопи. З табл. 1 видно, що найвищу оцінку комфортності у стані стояння замовник відчуває при щільно припасованих застібках макета до стопи. Фіксований тиск на стопу в різних точках при такій фіксації в межах від 8869,9 - 10491,2Па. Первинна оцінка зручності взуття в момент його примірки зв'язана з розпізнаванням і порівнянням психічного образу взуття, що приміряється.



**Рис. 3. Залежності тиску в зоні підйому від довжини затягування застібки:
1 – аналітична; 2 – експериментальна**

Отриманими залежностями можна скористатись для визначення розмірів внутрішньої форми взуття, а отже і колодки, виходячи із умови забезпечення заданого тиску верху взуття на стопу, що відповідає найбільшому рівню комфорту.

З урахуванням виразів (3) і (4) запишемо вираз (13) у вигляді:

$$P = k_1 E_1 \left[1 - \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{k_2 P R_1}{E_2 h} \right) \right] \tag{18}$$

Вирішуючи рівняння (18) відносно R_2 , отримаємо:

$$R_2 = \frac{1 - \frac{P}{k_1 E_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{k_2 P}{E_2 h}} \tag{19}$$

Тоді різниця між вимірним значенням радіуса сегмента стопи в області підйому і верхом взуття буде:

$$dR_2 = R_1 - R_2 = R_1 - \frac{1 - \frac{P}{k_1 E_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{k_2 P}{E_2 h}} \tag{20}$$

Графічна залежність розрахункового значення різниці між радіусами сегментів стопи від внутрішньої форми верху взуття і тиску в області підйому наведена на рис. 4. Дана залежність побудована за формулою (20) з початковими даними, прийнятими для розрахунку графічних залежностей на рис 3.

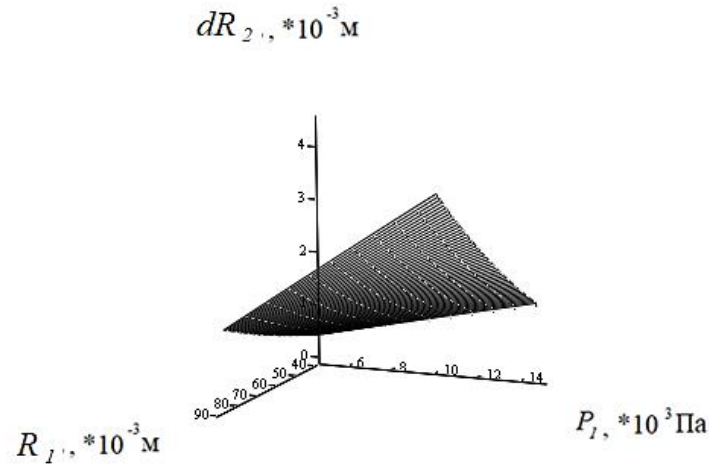


Рис. 4. Залежність розрахункового значення різниці між радіусами сегментів стопи від внутрішньої форми верху взуття і тиску в області підйому

Для визначення різниці між радіусами сегментів стопи і внутрішньої форми верху взуття у кожному конкретному випадку можна скористатись графічними залежностями, розрахованими за формулою (20), підставляючи в неї відповідні початкові дані. Для прийнятих початкових даних такі залежності представлені на рис. 5 і 6.

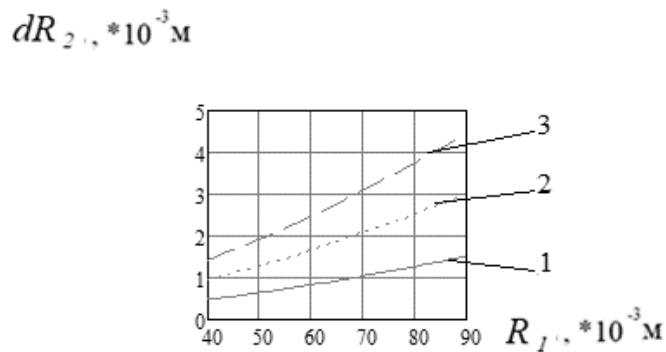


Рис. 5. Залежність розрахункового значення різниці між радіусами сегментів стопи і внутрішньої форми верху взуття від радіуса сегмента стопи:

1 – $P = 5 \cdot 10^3 \text{ МПа}$; 2 – $P = 10 \cdot 10^3 \text{ МПа}$; 3 – $P = 15 \cdot 10^3 \text{ МПа}$

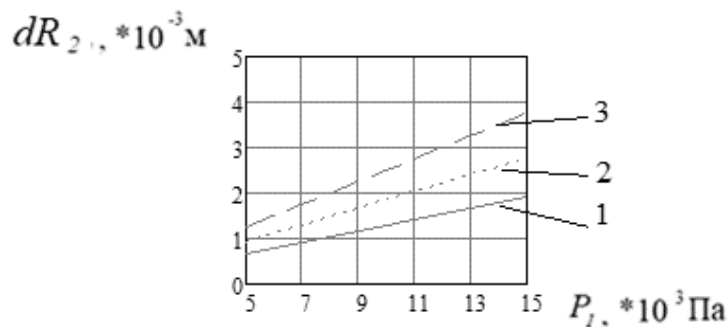


Рис. 6. Залежність розрахункового значення різниці між радіусами сегментів стопи і внутрішньої форми верху взуття від тиску при різних значеннях радіуса сегмента стопи:

1 – $R_1 = 50 \cdot 10^3 \text{ м}$; 2 – $R_1 = 65 \cdot 10^3 \text{ м}$; 3 – $R_1 = 70 \cdot 10^3 \text{ м}$

Розрахункове значення радіуса сегмента внутрішньої поверхні верху взуття, можна використати при проектуванні колодки для забезпечення заданого тиску на стопу з метою забезпечення найвищого рівня комфорту.

Висновки

Досліджена математична модель припасування шаблону в окремій зоні стопи за допомогою макета-трансформера взуття. В результаті проведення виміру тиску у стані стояння наведені фіксовані значення припасування макета до стопи та значення тиску. На основі порівняльного аналізу аналітична і експериментальні залежності тиску від затяжки робочої частини застібки є прийнятними. Дане дослідження дає можливість дослідити суб'єктивні відчуття комфорту стопи у взутті, і спрогнозувати забезпечення виготовлення високої якості взуття закритого типу за індивідуальним замовленням.

Список використаної літератури

1. Румянцева Е. Г. О биомеханике нижних конечностей человека / Е. Г. Румянцева, О. Н. Бартош, В.В. Костылева – М.: Дизайн и технологии. 2010. № 15. с. 32- 34
2. Дубровский В.И., Федорова В.Н. Биомеханика. Учебник для высших и средних заведений.– М., 2003. 672 с.
3. Wright DG, Rennels DC. A study of the elastic properties of plantar fascia. J Bone Joint Surg Am 1964;46:482-92.
4. Kitaoka HB, Luo ZP, Growney ES, et al. Material properties of the plantar aponeurosis. Foot Ankle Int 1994;15:557-60. DOI: 10.1177/107110079401501007.
5. Hurschler C, Vanderby R, Martinez DA, et al. Mechanical and biochemical analyses of tibial compartment fascia in chronic compartment syndrome. Ann Biomed Eng. 1994;22:272-9. DOI: 10.1007/bf02368234.
6. Kura H, Luo ZP, Kitaoka HB, et al. Mechanical behavior of the Lisfranc and dorsal cuneometatarsal ligaments: in vitro biomechanical study. J Orthop Trauma. 2001;15:107-10. DOI: 10.1097/00005131-200102000-00006.
7. Jahss M.H., Kummer F., Michelson J.D. Investigations into the fat pads of the sole of the foot: heel pressure studies // Foot & Ankle. — 1992. — Vol. 13, № 5. — P. 227-232.
8. Лябах А.П., Міхневич О.Е., Зінченко В.В., Пятковський В.М., Якімов Д.Ю. Механічні властивості жирової тканини підошовної поверхні стопи в нормі та у хворих на цукровий діабет і облітеруючий атеросклероз з трофічними розладами // Міжнародний ендокринологічний журнал.– 2006. – № 3 (5).– С.62 – 65.
9. Перепелкин А. И., Мандриков В. Б., Краюшкин А. И., Атрощенко Е. С. Некоторые особенности механических свойств стопы человека // Вестник ВолгГМУ.– 2016.–Выпуск 3 (59).– С. 22-24.
10. Hashemi J., Chandrashekar N., Mansouri H. et al. //J. Orthop. Res. — 2008. — Vol 26, №7. — P. 945—950.

References

1. Rumyantseva E. G., Bartosh , O. N. , Kostyleva V.V. O biomehanike nizhnih konechnostey cheloveka Kostyleva. Dizayn i tehnologii. M. 2010. № 15. pp. 32- 34
2. Dubrovskiy V.I., Fedorova V.N. Biomehanika. Uchebnik dlya vyisshih i srednih zavedeniy.– M., 2003, p. 672.
3. Wright D. G., Rennels D. C. A study of the elastic properties of plantar fascia. J Bone Joint Surg Am 1964; pp. 82-92.
4. Kitaoka H. B., Luo Z. P., Growney E. S., et al. Material properties of the plantar aponeurosis. Foot Ankle Int 1994;15:557-60. DOI: 10.1177/107110079401501007.
5. Hurschler C., Vanderby R., Martinez D. A, et al. Mechanical and biochemical analyses of tibial compartment fascia in chronic compartment syndrome. Ann Biomed Eng. 1994;22:272-9. DOI: 10.1007/bf02368234.
6. Kura H., Luo Z. P., Kitaoka H. B., et al. Mechanical behavior of the Lisfranc and dorsal cuneometatarsal ligaments: in vitro biomechanical study. J Orthop Trauma. 2001;15:107-10. DOI: 10.1097/00005131-200102000- 00006.
7. Jahss M. H., Kummer F., Michelson J. D. Investigations into the fat pads of the sole of the foot: heel pressure studies. Foot & Ankle, 1992, Vol. 13, № 5, pp. 227-232.
8. Lyabah A. P., Mlhnovich O. E., ZInchenko V. V., Pyatkovskiy V. M., YakImov D.Yu. MehanIchnI vlastivostI zhirovoYi tkanini pIdoshovnoYi poverhni stopi v normI ta u hvorih na tsukroviy diabet I obliTeruyuchiy ateroskleroz z trofIchnimi rozladami // Mlzhnarodniy endokrinologIchniy zhurnal.– 2006, № 3 (5), pp.62 – 65.
9. Perepelkin A. I., Mandrikov V. B., Krayushkin A. I., Atroschenko E. S. Nekotoryie osobennosti mehanicheskikh svoystv stopyi cheloveka // Vestnik VolgGMU.– 2016.–Vyipusk 3 (59).– S. 22-24.
10. Hashemi J., Chandrashekar N., Mansouri H. et al. //J. Orthop. Res., 2008, Vol 26, №7. pp. 945—950.