

ЧЕРТЕНКО Л.П., КЕРНЕСШ В.П., СМОЛЕНСЬКА Б.І., БОНДАР О.І.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗРУЧНОСТІ ВЗУТТЯ МАСОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Складність просторової форми взуттєвої колодки викликає масу труднощів при її проектуванні. З іншого боку, різноманітність видів і технологічних особливостей сучасного взуття висуває підвищені вимоги до процесу та результату проектування форми колодки.

У роботі запропоновано спеціальний метод проектування форми колодки на основі результатів 3D-сканування з урахуванням заданої вихідної інформації та необхідних технічних вимог.

Мета. Розробка обґрунтованого способу проектування взуттєвих колодок з урахуванням особливостей масового виробництва в залежності від технологічних особливостей взуття, необхідних вимог та наявної вихідної інформації.

Методи. Для дослідження було використано метод лиття гіпсової суміші, 3d-сканування для отримання цифрової копії стопи та колодки, метод синтезу та аналізу, метод зворотного інжинірингу для проектування форми нової колодки.

Результати. В роботі обґрунтовано різну вихідну інформацію, що необхідна для реалізації процесу проектування колодки для різних видів взуття в середовищі сучасних 3d САПР. Проведено дослідження за допомогою 3d сканування вихідних об'єктів, що застосовуються для проектування форми взуттєвих колодок: форма та параметри стопи, зразок взуття та гіпсовий зліпок внутрішнього простору, базова форма колодки, форма анатомічної устілки тощо. В роботі запропоновано вдосконалений спосіб проектування колодки на основі сучасних принципів моделювання колодок з використанням прогресивних цифрових технологій.

Практичне значення. Наведено алгоритм отримання та використання необхідної антропометричної інформації для розробки параметрів взуттєвої колодки для різних категорій населення та варіанти підходу до проектування взуттєвих колодок з урахуванням задач проектування, Цей алгоритм може бути використано в галузі масового виробництва взуття, що покращить споживчі властивості взуття, що виробляється, та допоможе вдосконалити процес виробництва різних видів взуття з ефективним використанням сучасних технологій.

Ключові слова: стопа, взуття, взуттєва колодка, антропометричні параметри, 3d сканування, зворотний інжиніринг.

WAYS TO INCREASE THE COMFORT LEVEL OF THE MASS PRODUCTION FOOTWEAR

CHERTENKO L., KERNESH V., SMOLENSKA B., BONDAR A.

Kyiv, National University of Technologies and Design, Ukraine

The complexity of the spatial shape of a shoe last causes a lot of difficulties in its design. On the other hand, the variety of types and technological features of modern footwear imposes increased

requirements on the design process and result.

The paper proposes a special method for designing the pad shape based on the results of 3D scanning, taking into account the initial information and the technical requirements.

Goal. Development of a reasonable method of designing shoe lasts, taking into account the peculiarities of mass production depending on the technological features of footwear, the necessary requirements and the available initial information.

Methods. The method of gypsum casting, 3d-scanning to obtain a digital copy of the foot and shoe last, the method of synthesis and analysis, the method of reverse engineering to design the shape of a new last's shape was used for the study.

Results. The paper proves a various initial information necessary for the implementation of the process of designing lasts for different types of shoes using a modern 3D CAD. The study was performed using 3D scanning of the original objects used to design the shape of shoe lasts: shape and parameters of the foot, shoe sample and plaster cast of the interior, the basic shape of the shoe last, the shape of the anatomical insole, etc. The paper proposes an improved method of footwear last design based on a modern principles of modeling using advanced digital technologies.

Practical value. The article contains the algorithm of obtaining and using the necessary information for the development of shoe last parameters for different categories of the population and options for approaching the design of shoe lasts taking into account the design tasks. This algorithm can be used in the field of mass production of footwear, which will improve the consumer properties of a footwear and help to improve the production process of various types of footwear with the effective use of modern technologies.

Keywords: foot, footwear, shoe last, anthropometric parameters, 3d scanning, reverse engineering.

Вступ

Великий інтерес до вивчення антропометричних та морфологічних особливостей стопи людини пов'язаний в тому числі із покращенням рівня життя, а відтак – із зростанням прагнення до здоров'я та комфорту, із підвищенням медичних стандартів та загальним екологічним трендом у сучасному векторі розвитку людства. Актуальний Састейнебл-тренд, згідно якому мода повинна стати дружньою як для екології, так і для організму людини, швидко завойовує все нових адептів.

Вимірювання розмірів стопи важливі для розробки взуття, оцінки впорності та клінічного застосування [1,2]. Носіння взуття, яке не відповідає параметрам та формі стопі, може підвищити ризик проблем з опорно-руховим апаратом кінцівок, включаючи біль у стопі і деформації [3]. Проектування взуття з використанням антропометричних параметрів стопи та з урахуванням її форми покращить відповідність та впорність взуття [1,4].

Постановка завдання

Впорність (відповідність параметрам стопи) - один з найважливіших функціональних аспектів комфорту взуття [5]. Численні наукові праці досліджували фактори, які впливають на впорність взуття та сприйняття зручності споживачами [5,6], і більшість зосередили свою увагу на кількісному визначенні ступеня відповідності взуття стопі шляхом порівняння основних параметрів колодки з антропометричними даними стопи [7]. Крім довжини стопи, параметри взуття також залежать від ширини та периметрів обхвату, зокрема, в пучковій ділянці стопи. При однаковій довжині стопи обхват стопи може змінюватися до двох дюймів [8].

Найголовніша проблема сьогоденної взуттєвої галузі - велика кількість неякісного взуття серед населення. Існуючі дані свідчать про те, що велика частка населення (від 63 до 72%) носять взуття невідповідного розміру або повноти. Відповідність взуття по ширині викликає особливе занепокоєння серед проблемних груп (люди із діабетом, ожирінням, люди похилого віку): від 46 до 81% учасників носять занадто вузьке взуття, оскільки просто

неспроможні знайти взуття відповідної повноти із наявного асортименту [9].

Проаналізувавши відповідність наявного асортименту взуття в магазинах зі стопами споживачів жіночої категорії та провівши опитування про відчуття болю та загальне сприйняття комфорту, дослідники прийшли до невтішних висновків: кількість незадовільного взуття, яке не відповідає ні критеріям відчуття зручності, ні критеріям відсутності болю, становить близько 43 % [10].

При виготовленні взуття масового виробництва сьогодні рідко враховують всі особливості просторової форми стопи потенційного споживача, а спираються, в кращому випадку, на 2-3 виміри середньо-типової стопи по окремих категоріях населення. В результаті виготовляється взуття, яке споживачі змушені розношувати та адаптувати до своєї форми стопи. Такий варіант неприйнятний для проблемних груп споживачів (діабетики, люди з ожирінням, люди похилого віку та ін.), також він небажаний для людей з деформаціями та патологіями стопи (hallux valgus, плоскостопість, гіпертрофія голівки першої плеснової кістки, та ін.).

З іншого боку, метод проектування взуттєвої колодки з урахуванням всіх індивідуальних особливостей форми стопи є неможливим для реалізації в умовах масового виробництва взуття. Отже, основним завданням роботи була розробка методу проектування взуттєвої колодки на основі різної вихідної інформації в умовах масового виробництва.

Методи дослідження. Для отримання анатомо-морфологічних параметрів стопи, які використовуються при розробці ергономічної внутрішньої форми взуття, необхідно використовувати прогресивну технологію обмірів. Використання сканерів дає можливість швидко і якісно отримувати та обробляти інформацію, отриману в процесі антропометричних досліджень, та на її основі проектувати колодку, враховуючи індивідуальні особливості форми стопи споживача. Використання цифрових тривимірних моделей дозволить реалізувати концепцію виготовлення взуття індивідуального замовлення за технологією масового [11].

Відомий американський лікар-ортопед, автор ряду книг про хвороби стопи Гленн Коупленд ще в 1990-х роках віддавав перевагу

комп'ютерним методам отримання інформації про стопу для розробки взуття та ортоприспосовань. Порівнюючи результати, отримані із застосуванням гіпсування та 3д сканування стопи, його пацієнти в 98% випадків обирали взуття, виготовлене на основі комп'ютерних технологій [12].

Сьогодні безконтактне 3д сканування є основним найбільш прогресивним та точним способом отримання вихідної інформації про стопу, що необхідна для проектування колодок, ортезів, вкладних пристосовань тощо.

Однак цей процес передбачає різні особливості в залежності від конкретних завдань проектування. Об'єкт та задача проектування визначають набір необхідної додаткової інформації та передбачають спеціальні методи проектування.

У більшості випадків вихідною інформацією для проектування антропометрично обґрунтованої ергономічної форми колодки є форма та параметри стопи замовника, які отримують шляхом її 3D-сканування. Для ортопедичного та коригувального взуття краще використовувати гіпсову копію стопи, встановленої в правильне біомеханічне положення. Також гіпси можуть бути корисними, якщо ми не маємо можливості безпосередньо сканувати стопу замовника. Гіпсовий зліпок сканується за допомогою 3д сканера, подальша робота з моделювання з використанням спеціалізованого програмного 3д-середовища в обох випадках відбувається аналогічно. Спочатку обирається базова форма колодки, яка далі масштабується до необхідних параметрів стопи, а потім форма редагується в окремих ділянках в режимі порівняння 3D форми колодки зі стопою.

У випадку відтворення форми колодки на основі готового зразка взуття застосовували лиття гіпсу, яким заповнювали внутрішню форму зразка. Розбавивши за інструкцією сухий гіпс водою, ми отримали розчин, який налили у внутрішній простір взуття, попередньо накривши внутрішню поверхню тонкою поліетиленовою плівкою.

В ході даної роботи отримання базової інформації для проектування колодки для різних видів взуття відбувалося за допомогою 3д сканування. Сканер InFoot3d використовувався для сканування стопи, базової форми колодки, а також гіпсових зліпків, які використовуються для проектування нової форми колодки (Рис. 1).

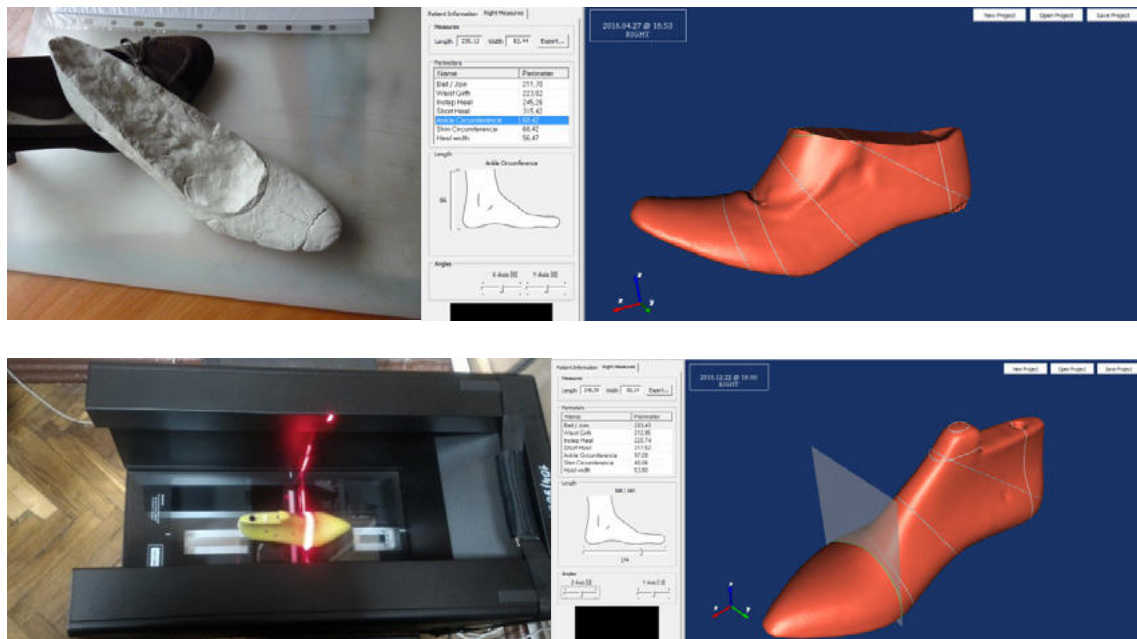


Рисунок 1 Отримання вихідної інформації для проектування форми колодки.

Процес проектування колодки з використанням комп'ютерних технологій вимагає численних експериментів і накопичення практичного досвіду. Складна і незаконотворна форма взуттєвої колодки передбачає використання вихідної базової форми для створення нової форми, а найбільш доцільним методом проектування є використання зворотного інжинірингу. Саме цей метод застосовано в даній роботі

для моделювання нових форм колодок. Моделювання нової форми відбувалося в середовищі спеціалізованої програми Crispin LastMaker та універсальної потужної 3d програми PowerShape за допомогою функцій поверхневого та каркасного моделювання (Рис. 2). При цьому використовували режим Порівняння та Порівняльний аналіз для оцінки відстаней між порівнюваними формами на всіх ділянках (Рис. 2).

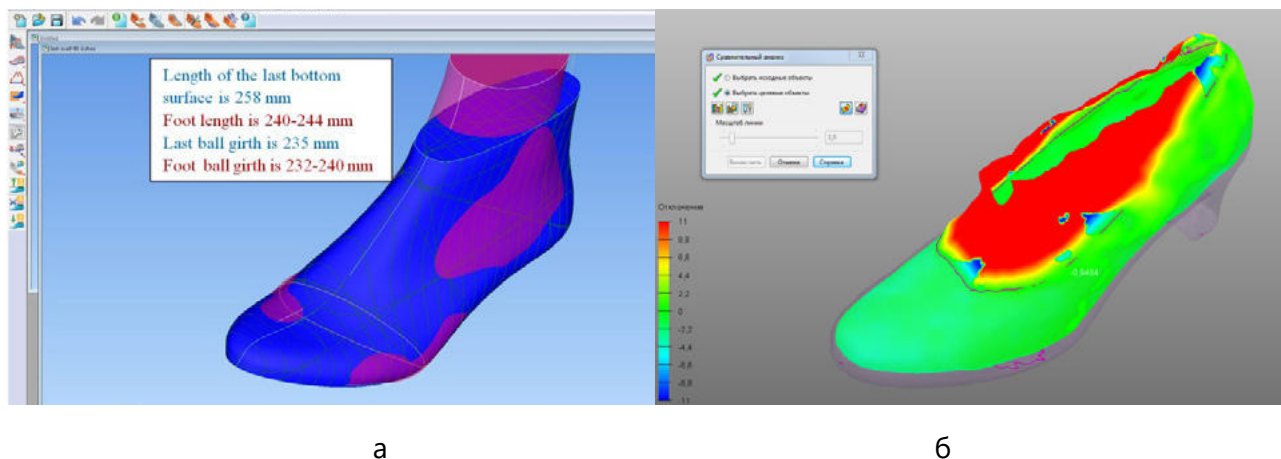


Рисунок 2 Проектування колодки з використанням режимів Порівняння

- а) Проектування колодки в режимі Порівняння зі стопою в середовищі LastMaker.
- б) Порівняльний аналіз для форм колодки та гіпсового зліпка внутрішньої форми взуття

Результати дослідження і обговорення

Вичерпна інформація, необхідна для проектування раціональної форми взуттєвої колодки, представляє собою цифрову 3d копію стопи, її плантограму, набір

цифрових результатів вимірювань для основних антропометричних параметрів. Однак при масовому виробництві взуття врахування всієї цієї інформації для всіх споживачів не є можливою, так само, як і проектування індивідуальної колодки для

кожного споживача. Набагато частіше нам доводиться стикатися із задачею вибору колодки із існуючої бази. Але результат такого вибору може бути задовільним тільки в тому випадку, коли база існуючих колодок розроблена у відповідності із анатомо-морфологічними особливостями стоп цільової групи споживачів.

З метою оптимізації зусиль та мінімізації вихідної інформації, що використовується для проектування та вибору колодки, можна запропонувати наступний алгоритм отримання та використання даних антропометричних досліджень стоп певних категорій населення (Рис. 3).



Рисунок 3 – Алгоритм отримання та використання необхідної антропометричної інформації для розробки параметрів взуттєвої колодки для різних категорій населення

В рамках сучасного масового взуттєвого виробництва виникають різні задачі для проектування колодок. Вони орієнтовані на різні види та технологічні особливості взуття,

та передбачають використання різної вихідної інформації (Рис. 4). Ця інформація визначає особливі алгоритми процесу проектування.

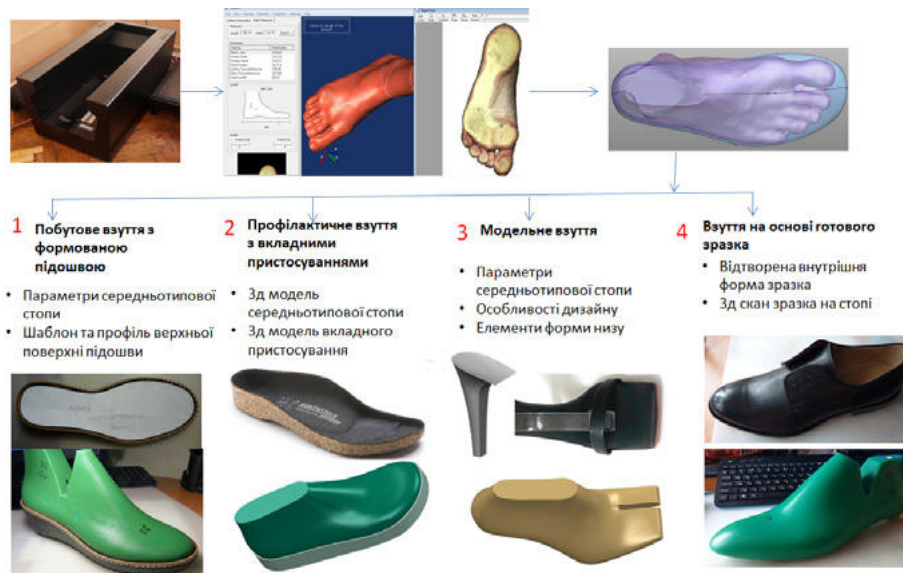


Рисунок 4 – Варіанти підходу до проектування взуттєвих колодок з урахуванням задач проектування

Так, поширеним завданням при проектуванні взуттєвої колодки на підприємстві є розробка форми колодки відповідно до форми формованої підшви (варіант 1 на Рис. 4). Цей варіант передбачає використання базової форми колодки та шаблону верхньої

поверхні підшви, відповідно до якого коригується форма колодки. Однак у цьому випадку додатково необхідно орієнтуватися на параметри стопи клієнта або середні параметри стоп цільового сегмента споживачів (Рис. 5).

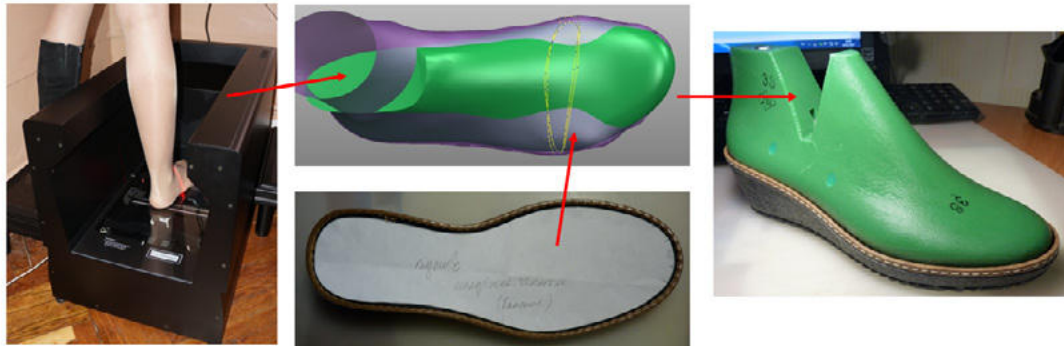


Рисунок 5 – Схема процесу проектування колодки на основі готової підшви

Перш за все на основі шаблону підшви викреслюється шаблон нижньої поверхні колодки з урахуванням товщини матеріалів верху. Далі колодка масштабується до потрібної ширини, що відповідає ширині отриманого шаблону в пучковій частині. Після цього перевіряємо та коригуємо периметри поперечно-вертикальних перерізів колодки у важливих анатомічних ділянках. І нарешті контур сліду колодки приводиться у відповідність до контуру побудованого шаблону.

частина колодки повинна відповідати верхній частині устілки.

Основна частина колодки моделюється на основі 3D-скану стопи замовника або 3д моделі усередненої стопи цільового сегменту споживачів. Далі нижня частина колодки обрізається на висоту бортика профільованої устілки. Після цього нижня поверхня моделі колодки приводиться у відповідність до верхньої поверхні профільованої устілки (Рис. 6). На завершальному етапі після всіх маніпуляцій необхідно перевірити обхватні параметри колодки на відповідність анатомічним параметрам стопи. За необхідності проводимо коригування верхньої частини колодки.

Категорія взуття, що виготовляється з використанням профільованих устілок, ортезів або коригувальних пристроїв (спеціальних устілок), вимагає обов'язкового врахування параметрів устілки при проектуванні. Нижня

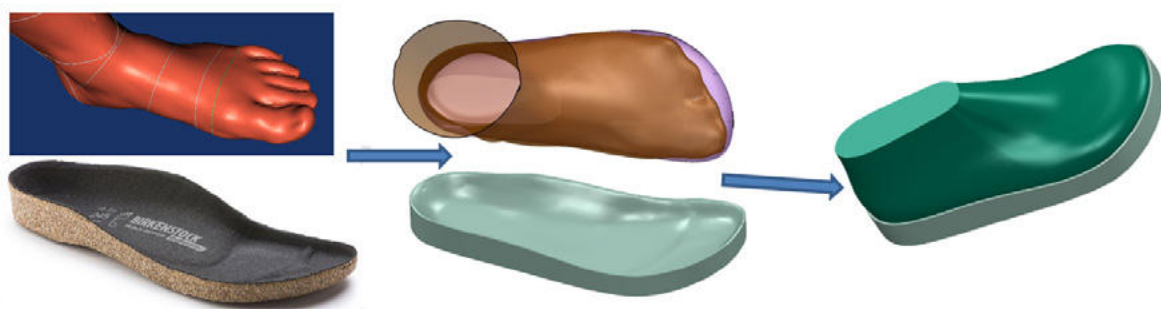


Рисунок 6 – Послідовність процесу проектування анатомічної форми колодки на основі профільованої устілки

При моделюванні модних колодок для висококаблучного взуття часто основною вихідною інформацією для проектування є бажаний дизайн взуття, основні антропометричні параметри стопи цільового сегменту споживачів, а також форма комплектуючих, що використовуються для

форми низу (каблуки, платформи, блок-устілки тощо) (Рис. 7).

Основною особливістю проектування модельних колодок є необхідність моделювання оригінальної форми носкової частини, що не завжди реально здійснити в

середовищі спеціалізованих взуттєвих САПР. В цьому випадку в роботі застосовано функції поверхневого моделювання програмного комплексу PowerShape. Для створення геометричних форм носкової частини перш за все проектували каркасну основу із граничних контурів, що обмежують сегменти просторової форми носкової частини. При цьому користувалися ескізами моделі, що розроблені у відповідності до модних трендів. Далі використовували функцію Розумного моделювальника, вказуючи каркасні контури в якості основи для побудови.

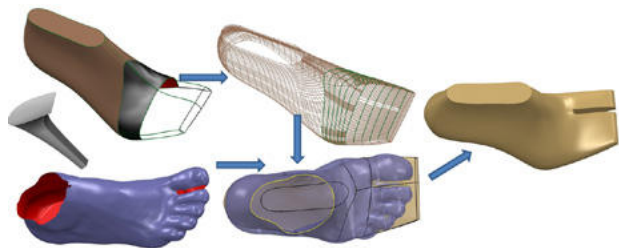


Рисунок 7 – Вихідна інформація та основні етапи процесу проектування форми модельної колодки

Інша дизайнерська проблема — розробити форму взуттєвої колодки на основі форми готового взуття. Це один з найкращих методів проектування колодки з точки зору ефективності, але дуже трудомісткий. Він дає хороший результат за рахунок врахування всіх особливостей правильної посадки взуття, в тому числі суб'єктивних відчуттів замовника, які важко визначити при скануванні стопи.

У разі використання в якості вихідної інформації готового зразка взуття нам, перш за все, необхідно відтворити внутрішню форму взуття. Для цієї мети можна використовувати матеріали, які здатні заповнювати форму в рідкому стані, а при застиганні зберігати форму без спотворення. У цьому експерименті ми використовували лиття гіпсу всередину форми. Після висихання гіпсовий зліпок виймали із взуття і сканували. Крім того, на другому етапі ми сканували взуття на стопі, яка відповідає середнім параметрам по цільовому сегменту споживачів (Рис. 8).

Далі ми завантажили відскановані форми в програмне середовище для перевірки параметрів, порівняння та коригування. В даній роботі ми використовували програмні продукти Crispin LastMaker і PowerShape. Вирівнявши гіпсовий 3d зліпок зі сканом взуття, ми визначили зони необхідної корекції, - найбільші розбіжності виявилися в верхній та габаритній зоні пучків, оскільки пучкова частина у взутті здатна дещо просідати.

Метою подальшого коригування моделі було отримання форми, рівновіддаленої від форми сканованого взуття у верхній частині (вони відрізняються товщиною матеріалів верху). Гребнева частина взуттєвої колодки моделювалася на основі базової форми колодки, оскільки ця зона значно відрізняється від форми стопи.

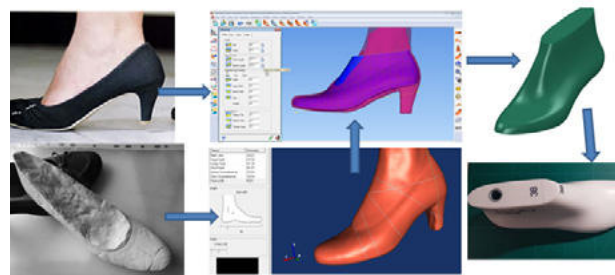


Рисунок 8 – Схема процесу проектування взуттєвої колодки на основі готового зразка взуття

Висновки

Моделювання форми колодки є важливим аспектом, що має вирішальне значення для зручності взуття. Погано підібране взуття або взуття неправильної форми є причиною різних проблем зі стопами та патологій. Проектування колодок для взуття масового виробництва має багато проблем, пов'язаних із складністю просторової форми колодки та різноманіттям задач проектування, а також необхідністю врахування різної вихідної інформації для реалізації цих задач.

В даній роботі запропоновано нові принципи застосування вдосконалених підходів до проектування взуттєвої колодки в епоху сучасних цифрових технологій.

Форма взуттєвої колодки має складну геометрію. Традиційні методи, що використовуються для створення форми колодки, копіюють існуючу та модифікують її для створення нової колодки відповідно до естетичних вимог або ортопедичних цілей. Але зараз ці технології замінені на передові методи, такі як 3D-проектування з використанням 3D сканування. Таким чином, в роботі було розроблено вдосконалений спосіб проектування взуттєвої колодки на основі сучасних принципів моделювання колодок з використанням прогресивних графічних систем та високотехнологічного обладнання. Також обґрунтовано різну вихідну інформацію, що необхідна для реалізації способу для різних видів взуття в середовищі сучасних 3d САПР.

Список літератури:

1. Witana CP, Feng J, Goonetilleke RS: Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. // *Ergonomics* 2004, 47(12): P. 1301–1317.
2. Wang CS: An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet. // *Comput Ind* 2010, 61(6): P. 532–540.
3. Menz HB, Morris ME: Footwear characteristics and foot problems in older people. // *Gerontology* 2005, 51(5): P. 346–351.
4. Au EY, Goonetilleke RS: A qualitative study on the comfort and fit of ladies' dress shoes. // *Appl Ergon* 2007, 38(6): P. 687–696.
5. Miller, J.E., Nigg, B.M., Liu W., Stefanyshyn D. J., Nurse M. A. Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort // *Foot & Ankle International*, vol. 21, American Orthopaedic Foot & Ankle Society, 2000, p. 759-767
6. Mochimaru M., Kouchi, M. Shoe customization based on 3D deformation of a digital human // *The Engineering of Sport*, vol. 4, 2002, p. 595-601.
7. Borchers R. E., Boone D. A., Aaron W. J., Smith D. G. Numerical Comparison of 3-D shapes: Potential for application to the insensate foot // *Journal of Prosthetics and Orthotics*, vol. 7, 1995, p. 29-34.
8. E.Y.L. Au, R.S. Goonetilleke, C.P. Witana A methodology for determining the allowances for fitting footwear // *Int. J. Human Factors Modelling and Simulation*, Vol. 2, No. 4, 2011, p. 341-366.
9. A.K. Buldt, H.B. Menz Incorrectly fitted footwear, foot pain and foot disorders: a systematic search and narrative review of the literature // *Journal of Foot and Ankle Research*, 2018.
10. B. Nácher, S. Alemany, J.C. González, E. Alcántara A Footwear Fit Classification Model Based on Anthropometric Data: SAE International, 2005.
11. Чертенко Л.П., Кернеш В.П., Гаркавенко С.С. Розробка способу проектування колодок для комфортного взуття з використанням 3d сапр та прогресивного обладнання // *ВІСНИК КНУТД* No5 (114), 2017, с. 143-151.
12. Коуплэнд Г, Соломон С. Все о здоровье ваших ног. От младенчества до старости: АСТ, 2008, с. 202.

References

1. Witana CP, Feng J, Goonetilleke RS: Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. // *Ergonomics* 2004, 47(12): R. 1301–1317.
2. Wang CS: An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet. // *Comput Ind* 2010, 61(6): R. 532–540.
3. Menz HB, Morris ME: Footwear characteristics and foot problems in older people. // *Gerontology* 2005, 51(5): R. 346–351.
4. Au EY, Goonetilleke RS: A qualitative study on the comfort and fit of ladies' dress shoes. // *Appl Ergon* 2007, 38(6): R. 687–696.
5. Miller, J.E., Nigg, B.M., Liu W., Stefanyshyn D. J., Nurse M. A. Influence of foot, leg and shoe characteristics on subjective comfort // *Foot & Ankle International*, vol. 21, American Orthopaedic Foot & Ankle Society, 2000, r. 759-767.
6. Mochimaru M., Kouchi, M. Shoe customization based on 3D deformation of a digital human // *The Engineering of Sport*, vol. 4, 2002, r. 595-601.
7. Borchers R. E., Boone D. A., Aaron W. J., Smith D. G. Numerical Comparison of 3-D shapes: Potential for application to the insensate foot // *Journal of Prosthetics and Orthotics*, vol. 7, 1995, r. 29-34.
8. E.Y.L. Au, R.S. Goonetilleke, C.P. Witana A methodology for determining the allowances for fitting footwear // *Int. J. Human Factors Modelling and Simulation*, Vol. 2, No. 4, 2011, r. 341-366.
9. A.K. Buldt, H.B. Menz Incorrectly fitted footwear, foot pain and foot disorders: a systematic search and narrative review of the literature // *Journal of Foot and Ankle Research*, 2018.
10. B. Nácher, S. Alemany, J.C. González, E. Alcántara A Footwear Fit Classification Model Based on Anthropometric Data: SAE International, 2005.
11. Chertenko L.P., Kernesh V.P., Harkavenko S.S. Rozrobka sposobu projektuvannia kolodok dlia komfortnoho vzuttia z vykorystanniam 3d saпр ta prohresyvnoho obladdnannia // *VISNYK KNUТD*. No5 (114), 2017, s. 143-151.
12. Koupland H, Solomon S. Vse o zdorove vashykh noh. Ot mladenchestva do starosty: AST, 2008, s. 202.