

КАПТЮРОВА Дарія

Київський національний університет технологій та дизайну
e-mail: daria.kaptiurova@gmail.com

ЧЕРТЕНКО Лілія

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0003-4321-8475>
e-mail: Lily-che@ukr.net

БОНДАР Олександр

Київський національний університет технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0002-0775-1611>
e-mail: bai2708@ukr.net

НОС Олександра

Київський національний університет технологій та дизайну
e-mail: Nosalexandra0701@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ФОРМИ ВЗУТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПРОГРЕСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В роботі досліджено можливість підвищення рівня комфортності сучасного взуття за рахунок вдосконалення його внутрішньої форми з урахуванням особливостей анатомії стопи. З цією метою в роботі запропоновано новий спосіб розробки ергономічної антропометрично обґрунтованої форми колодки на основі результатів 3d сканування стопи замовника та гіпсового позитиву відбитку його стопи з використанням методу зворотного інжинірингу та прогресивного програмного забезпечення. Підвищений рівень комфортності взуття досягається в тому числі за допомогою використання індивідуальних антропометричних устілок, які проектується на основі рельєфа плантарної поверхні стопи, отриманого шляхом 3d сканування її гіпсового зліпка. Процес виготовлення колодок і анатомічних устілок, розроблених в роботі, реалізується за допомогою єдиного 3-координатного верстату з ЧПК, що забезпечує послідовний та комплексний процес обробки без необхідності застосування додаткового обладнання. Розробка основних елементів форми в середовищі універсальних прогресивних програм (PowerShape) дозволяє забезпечити подальший логічний перехід до плоских креслень лекал вершу, що сприяє замкненому циклу автоматизації всіх проектних процесів виробництва.

Ключові слова: ергономічне взуття, проектування внутрішньої форми взуття, анатомічна устілка, взуттєва колодка, ЧПК-фрезерування.

KAPTIUROVA Daria, CHERTENKO Lilia, BONDAR Olexandr., NOS Olexandra
Kyiv National University of Technology and Design

IMPROVEMENT OF THE INTERNAL FORM OF SHOES USING MODERN PROGRESSIVE TECHNOLOGIES

In this work we investigate the improvement of comfort of modern shoes due to the improvement of its internal shape, according to the anatomy of the foot. For this purpose, we offer the new method for the development of an ergonomic anthropometrically justified form of the last based on the 3d scanning results of the customer's foot and its plaster cast. The reverse engineering method and progressive software was used for that aim. An increased level of shoe comfort is achieved through the use of individual anthropometric insoles, which are designed based on the relief of the plantar surface of the foot obtained by 3D scanning of its plaster cast. An increased level of footwear comfort is achieved, among other things, through the use of individual anthropometric insoles designed on the basis of the relief of the plantar surface of the foot, obtained by 3D scanning of its plaster cast. To create the most comfortable anatomical insoles, the main requirements for their design were analyzed. When designing the shape of the insole, the recommendations of the orthopedist were taken into account.

In the development of the last and insoles, progressive software was used: Foot3D for foot 3d scanning, Delcam Crispin LastMaker and PowerShape for shoe last modeling and modifications, and ArtCAM for designing insoles and preparing them for CNC-milling. The manufacturing process of shoe last and anatomical insoles is implemented with the help of only one 3-ways CNC-machine, which ensures a consistent and complex making process without the need for additional equipment. The development of the main elements of the form in the environment of universal progressive programs (PowerShape) provides a further logical converting 3d model to a flat pattern, which contributes to a closed cycle of automation of all design production processes.

Keywords: ergonomic footwear, shoe shape design, anatomical insole, footwear last, CNC-milling

Сьогодні, не зважаючи на високий рівень прогресу в усіх галузях виробництва, досі не вирішена проблема проектування та виготовлення зручного та ергономічного взуття масового виробництва.

Велике занепокоєння у європейських і американських фахівців викликає кількість захворювань стоп у населення різних статевих-вікових груп. Багато захворювань та деформацій стопи мають набутий характер та можуть бути спричинені незручним, неправильно підібраним взуттям: вальгусна деформація стоп, плоскостопість, п'яткові шпори тощо.

Тож найголовніша проблема сьогоденної взуттєвої галузі – велика кількість неякісного взуття серед населення [1]. Існуючі дані свідчать, що більше половини населення носять взуття, невідповідне за розміром або повнотою: коли ноги споживача дуже вузькі або дуже широкі, тоді він/вона може не знайти взуття відповідної довжини і ширини і, отже, не в змозі знайти взуття з «правильною впорністю (відповідністю)» [2]. Особливо часто з проблемою завузького взуття стикаються люди з діабетом, ожирінням, люди похилого віку, оскільки дані стани людини можуть викликати відчутне збільшення ваги, що призводить до додаткового

навантаження на нижні кінцівки та відповідно і до сплюснення склепіння стопи та збільшення об'єму в пучках. Опитування показало, що від 46 до 81% учасників носять занадто вузьке взуття, оскільки просто не спроможні підібрати взуття підходящої повноти із наявного асортименту [3].

Проведені нещодавно анкетування та опитування [4] продемонстрували велику кількість проблем зі зручністю модельного жіночого взуття, що представлено на масовому ринку.

Все це є результатом ігнорування реальних потреб споживчого ринку. Проектування взуття з використанням антропометричних параметрів стопи та з урахуванням її форми призведе до покращення відповідності та впорності взуття [5].

Основою для створення складної форми взуття і забезпечення зручності і комфортності готового виробу є колодка. Параметри колодки мають вирішальне значення для комфорту взуття. Однак зручна форма колодки не завжди достатньо витончена та приваблива, тож виробники часто обирають естетичні форми як більш конкурентоспроможні.

Проте сучасний глобальний тренд сталої моди орієнтований на максимальну ергономічність виробів, що використовуються людиною. Тому сьогодні, внаслідок зміщення вектору моди в сторону потреб споживача, ми маємо шанс поєднати ергономічність та естетичність.

Отже, головною метою роботи було поставлено розробку зручної внутрішньої форми взуття, що здатна забезпечити нормальне функціонування стопи людини, та привабливий зовнішній вид взуття.

Підвищити ергономічність, зручність взуття може виготовлення анатомічних устілок, що відповідають формі стопи, а також вдосконалення форми колодки. Проте нова прогресивна ергономічна форма колодки та ергономічні устілки повинні відповідати певним практичним вимогам: мати низьку вартість, легкість використання, миттєвий ефект та невеликі фізичні зусилля при виробництві та використанні. В іншому випадку модифікації навряд чи будуть прийняті добровільно і підтримуватимуться в довгостроковій перспективі [6].

Як правило, взуття складається з ряду компонентів, кожен з яких може впливати на механіку ходи [7]. Наприклад, підвищений каблук робить стопу нестабільною та може спричинити зміни у ході, вальгусну деформацію стоп тощо.

Підощва забезпечує взаємодію з поверхнею для ходьби і впливає на вимоги тертя при ходьбі та пов'язаний ризик ковзання [8]. Устілка безпосередньо контактує з слідом стопи і контролює тиск стопи та рух гомілковостопного суглоба, що у свою чергу також впливає на індивідуальну модель ходи [9].

Застосування профільованої анатомічної устілки є прийнятним при практично будь-яких особливостях стоп та опорно-рухового апарату. Також значною перевагою ергономічних, профілактичних та ортопедичних устілок є можливість їх застосування в практично будь-якій моделі взуття [10]. Взуття з фрезерованими індивідуальними або ергономічними устілками може бути як закритого типу (лофери, кросівки, кеди, черевики, чоботи, напівчеревики, туфлі, мокасини тощо), так і відкритого (взуття ремінцевого типу, мюлі, сабо, туфлі з відкритими п'ятковими, геленковими, носковими ділянками).

Також немає обмежень щодо кріплення низу взуття: може застосовуватися клейовий, строчковий, сандальний методи.

Для збору інформації про стопу людини найпрогресивнішою та найточнішою методикою є сканування стопи. Відскановане зображення має бути створеним за допомогою відтворення точок безпосередньо самої стопи, а не з допомогою використання комп'ютерних алгоритмів, екстраполяції або інтерпретації для обчислення форм і контурів за отриманим двовимірним зображенням. Отже для сканування стопи прийнятні три технології: лазерна триангуляція (червоне світло), структуроване світло (біле або інфрачервоне світло) та контактна оцифровка.

Проектування форми колодки на основі сканованих 3д моделей стопи відбувається в середовищі спеціалізованих САПР. Наприклад, це можуть бути такі програми як MindCAD Last Design & Engineering, Delcam Crispin Last Maker тощо. Для проектування форм устілок використовується спеціальне програмне забезпечення: Paromed, PedCAD, EasyCAD, QuadroCAD та інші.

Профільовані устілки підвищеного комфорту бувають вкладні та затяжні. Від типу устілки буде залежати і форма колодки, що проектується. Для взуття, де передбачена профільована вкладна устілка, потовщення обхватів стопи з устілкою мають бути враховані при проектуванні колодки.

Для безпосередньо виготовлення колодок та профільованих устілок можуть використовуватися адитивна або субтрактивна технології.

При адитивній технології (або 3Д-друці) матеріал пошарово додається по заданій траєкторії. Вибір виду адитивної технології залежить від властивостей обраного матеріалу. З допомогою технології SLS можливе виготовлення колодки, а для устілок або підощов доцільно використовувати FDM друк та матеріали у вигляді філаменту (рис. 1).

Проте не зважаючи на численні переваги адитивних технологій (швидкість, точність, економічність), поки що більше розповсюдження має субтрактивний спосіб. Він базується на отриманні необхідної форми шляхом зрізання зайвого матеріалу. Для цього використовуються станки ЧПК (числове програмне керування). Станки ЧПК бувають трьох, чотирьох та п'яти-координатні. П'яти-координатні станки є найновішими та найпрогресивнішими, в Україні використовуються на фірмі LvivPlast для виготовлення колодок.

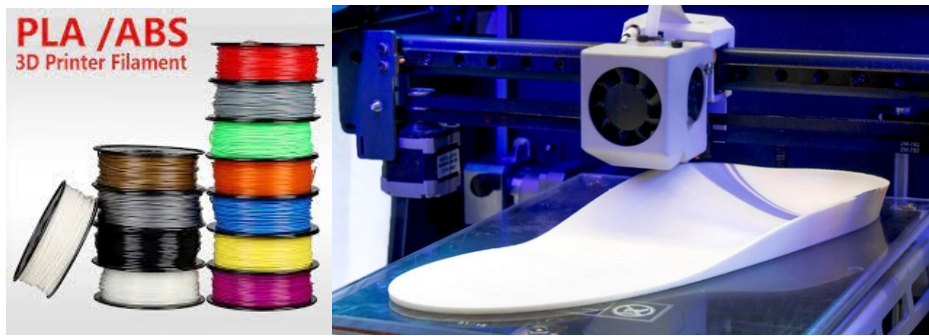


Рис. 1. FDM-друк профільованої устілки та філамент PLA та ABS-пластику (матеріал, що використовується)

Методика експерименту. Для отримання вихідної інформації для проектування використовували прогресивний та сучасний спосіб 3д сканування. Використовували професійний сканер InFoot3d, який дозволяє отримати форму стопи людини, визначити автоматично до 20 анатомічних точок, підрахувати анатомічні розміри. Сканер розгортає червоні лазери та камери CCD, що фіксують лазери. Час сканування становить від 5 до 10 секунд, залежно від розміру об'єктів сканування, точність сканування становить 1,3 мм [11].

Спочатку сканували стопу в стандартному положенні при рівномірному розподілі навантаження на дві стопи. За допомогою програми сканування Foot3d отриману хмару точок конвертували в триангульовану просторову модель (рис. 2), яку далі завантажували в середовище комп'ютерних програм, в яких відбувається процес проектування колодки та устілки. Аналогічно відбувався процес сканування вихідної форми колодки, що використовується для проектування нової моделі.

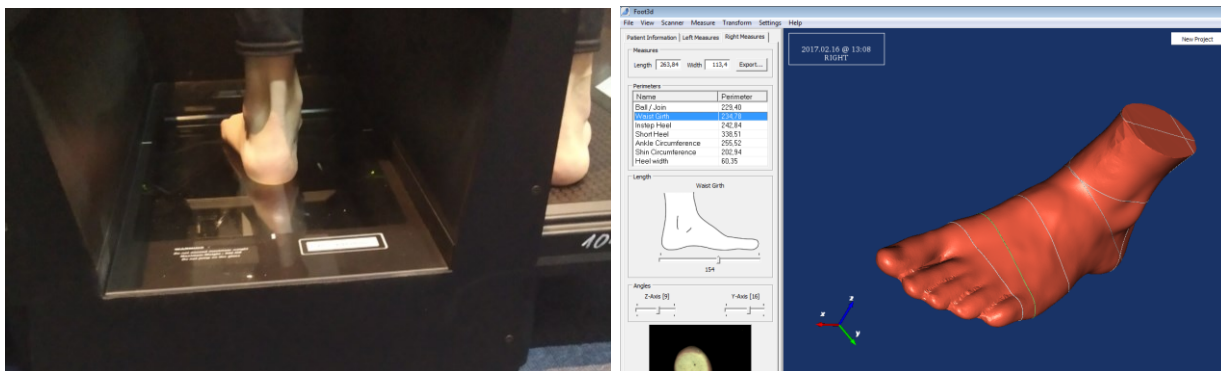


Рис. 2. Результат сканування відбитка на полімерній піні (зліва), та стопи (справа)

Проектування нової форми колодки відбувалося із залученням програмних продуктів Crispin LastMaker та PowerShare в режимі порівняння форм колодки-стопи з використанням принципу зворотного інжинірингу (рис. 3).

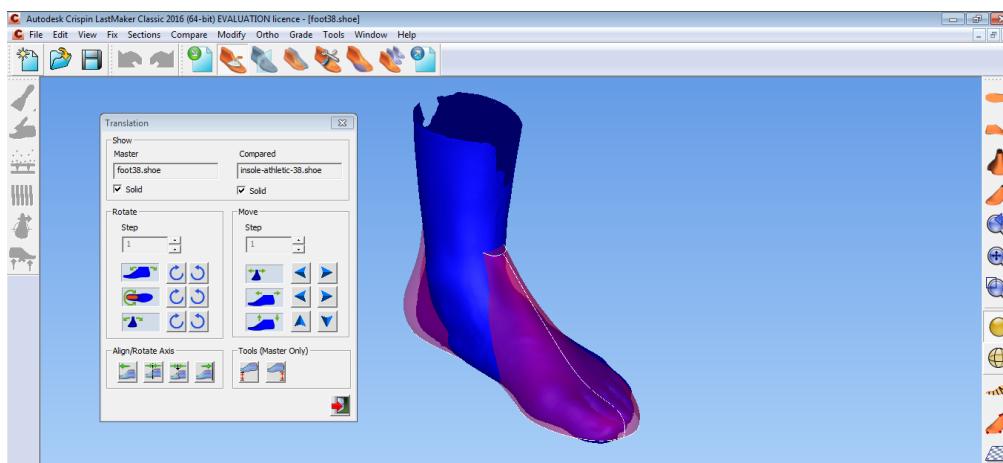


Рис. 3. Порівняння стопи і колодки в LastMaker

При цьому основні модифікації форми взуття у відповідності із формою стопи відбуваються за наступним алгоритмом:

- 1) Довжина. Довжина сліду колодки приводиться до наступного параметру:

$$Дсл = Дст + П - S,$$

де Дст – довжина стопи, мм;
S – зсув в п'ятці, мм;

П – припуск, що складається з мінімального функціонального припуску (для жіночого літнього взуття – 5 мм) та декоративного припуску, мм.

Для збільшення довжини сліду колодки виконується загальне масштабування колодки (функція *Масштаб*).

Основні лінійні розміри колодки зображені на рис. 4.

2) Ширина колодки. Ширина сліду на рівні пучків – на 5–8 мм менша ніж габаритна ширина колодки в цій ділянці. Виконується масштабування колодки по ширині у перерізі на відстані 0,68 Д.

3) Ширина п'ятки. Ширина сліду на рівні середини п'ятки – на 1–3 мм менша ніж габаритна ширина стопи в цій ділянці. Коригування ширини сліду на рівні середини п'ятки, переріз 0,18 Д (функція *Розширені налаштування\П'ятка\Ширина*).

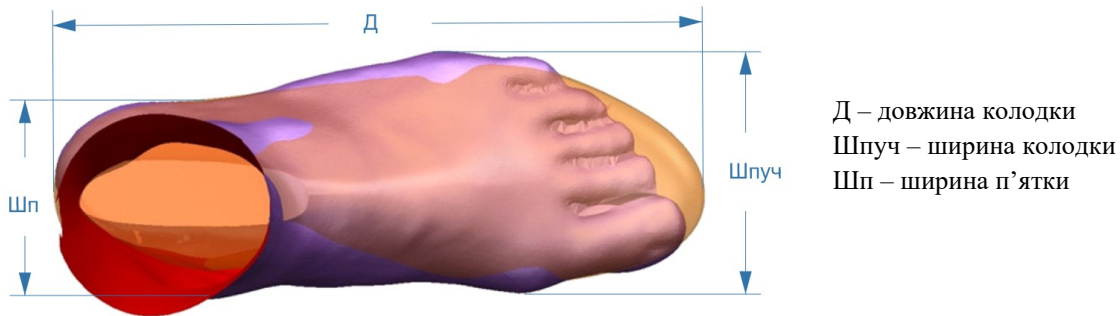


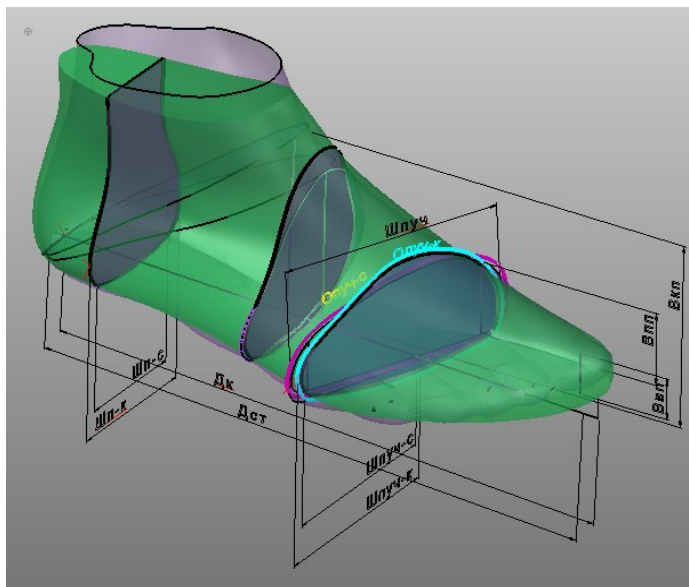
Рис. 4. Основні лінійні габаритні розміри колодки в режимі порівняння зі стопою

4) Обхват пучків. Обхват колодки через внутрішній та зовнішній пучки – на 3-5 мм менший ніж аналогічний периметр форми стопи. Коригування параметру виконується шляхом зміни ширини та висоти відповідного поперечного перерізу колодки (функція *Розширені налаштування\Пучки\Ширина, а також Модифікація перерізів*).

5) Обхват підйому. Обхват колодки на рівні середини стопи – на 5–8 мм більший ніж аналогічний обхват стопи. Коригування параметру виконується аналогічно модифікації обхвату в пучках (функція *Модифікація перерізів*).

6) Обхват косою підйому. Обхват через нижню точку п'ятки та точку гребеня. Коригування параметру виконується шляхом зміни положення точки гребеня (функція *Розширені налаштування\Пучки\Положення точки гребеня*).

Основні параметри колодки зображені на рис. 5.



Шпуч – ширина пучків
Опуч-к – обхват пучків на колодці
Опуч-с – обхват пучків на стопі
Шпуч-к – ширина пучків (колодка) на рівні габаритної частини
Шпуч-с – ширина пучків (колодка) на рівні ребра сліду
Шп-к – ширина п'ятки (колодка) на рівні габаритної частини
Шп-с – ширина п'ятки (колодка) на рівні ребра сліду
Дк – довжина сліду колодки
Дст – довжина сліду стопи
Ввп – висота великого пальця
Вп – висота прямого підйому
Вкп – висота косою підйому

Рис. 5. Основні параметри колодки та стопи

7) Кут п'ятки. Кут між центральною віссю стопи та віссю симетрії п'яткової частини сліду.

8) Кут носка. Кут між центральною віссю стопи та віссю симетрії носкової частини сліду (рис. 6). Коригування відбувається шляхом зміни кута носка на $\pm 1-5$ градусів (функція *Розширені налаштування\Носок\Кут вісі*).

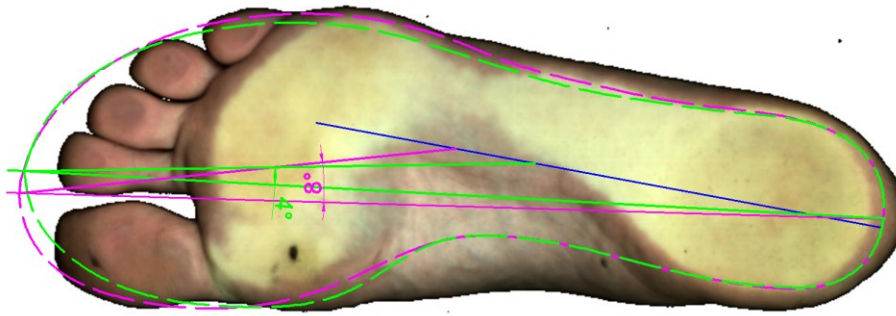


Рис. 6. Устілка до (зелений контур) та після (рожевий) зміни кутів носка та п'ятки

9) Конфігурація носкової частини сліду у відповідності до форми стопи. Відбувається за допомогою використання функції *Профілі* (носкова частина сліду).

10) Конфігурація поперечного перерізу пучків з урахуванням необхідної висоти внутрішнього пучка (висоти голівки першої плесневої кістки). Використовується *Модифікація верхнього контуру поперечного перерізу*.

11) Конфігурація п'яtkового контуру поздовжньо-осьового перерізу колодки (використовуються *Профілі*).

12) Конфігурація контурів поперечних перерізів за необхідністю (кривизна поперечних контурів п'яtkової, геленкової частини та ін.). Використовується *Модифікація верхнього контуру поперечного перерізу*.

Отримана в результаті модифікацій колодка буде основою для створення форми взуття.

Однак дана форма ще не забезпечить абсолютну комфортність стопи у взутті, оскільки плоский слід взуття сприяє нерівномірному розподілу тиску на нижню (плантарну) поверхню стопи. Шляхом підвищення комфортності взуття та вдосконалення його внутрішньої форми є застосування антропометричних устілок, які мають об'ємно-просторову верхню поверхню, що відповідає рельєфу плантарної поверхні стопи. При правильному проектуванні такі устілки сприяють рівномірному розподілу навантаження та розвантаженню стопи при її роботі.

Для отримання вихідної інформації для проектування таких устілок стандартне 3д сканування стопи не підходить, адже при стоянні на плоскому склі сканера м'які тканини стопи сплющуються, і рельєф стопи не ідентифікується. Серед ефективних способів відтворення рельєфу плантарної поверхні стопи є гіпсування стопи гіпсовою пов'язкою, застосування альгінатного розчину та використання спеціальної полімерної піни для відбитків. Третій спосіб дещо дорожчий, ніж перший, але набагато простіший у виконанні, тому ми застосовували саме його.

Для отримання гіпсового зліпка за допомогою полімерної піни спочатку отримується відбиток стопи (рис. 7). У положенні сидячи, босоніж або в тонкій капроновій шкарпетці пацієнт занурює стопу у піну, рівномірно розподіляючи вагу по всій площині стопи, а також рівномірно між обома стопами. Піна змінює свою форму та зберігає її. Отриманий відбиток заливається гіпсовим розчином (1 частина гіпсу / 6 частин води). Повне застигання відбувається протягом декількох годин.

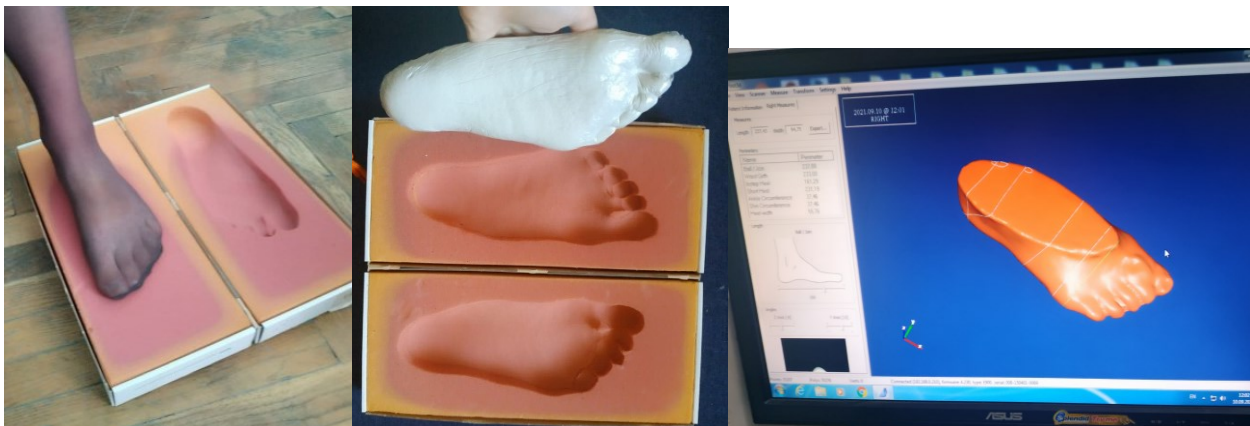


Рис. 7. Отримання відбитка стопи, гіпсового зліпка та його сканування на 3д сканері

Основний процес проектування колодок та устілок на основі отриманих даних відбувався в середовищі PowerShape – програмному комплексі, що має широкий діапазон функцій 3д моделювання, та дозволяє здійснювати всі необхідні в роботі маніпуляції (рис. 8).

У випадку застосування вкладних профільованих устілок в закритому взутті нам необхідно використовувати мінімальну товщину устілки в носково-пучковій частині, що забезпечує гнучкість взуття в цій ділянці, разом з тим забезпечуючи потовщену рельєфну частину п'ятково-геленкової частини з необхідними підтримками арок склепінь стопи. Для цього ми використовуємо рельєф, отриманий при скануванні піни з відбитком, вносячи необхідні корективи та сплющуючи передню частину рельєфу в ділянці пальців. При цьому зовнішній контур устілки, що проектується, має відповідати сліду спроектованої колодки.

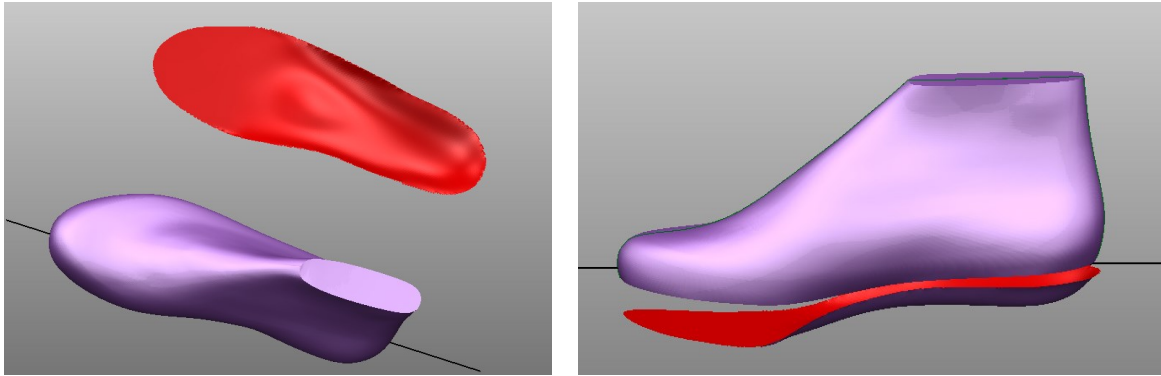


Рис. 8. Спроектвана жіноча колодка в PowerShape

При цьому форма колодки має бути відкоригована з урахуванням подальшого використання вкладних анатомічних устілок, що вкладаються в середину взуття. Для цього ми здійснили вимірювання параметрів стопи без устілки та з устілкою для визначення необхідних параметрів остаточної форми колодки (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняння обмірів стопи та колодки, спроектованої з урахуванням устілки

	Стопа	Стопа з устілкою	Колодка
Обхват пучків, мм	232,4	239,2	237,4
Обхват підйому, мм	231,2	250,1	255,4
Обхват косоного підйому, мм	312,0	325,2	328,7
Довжина сліду, мм	246,0	244,2	256,0
Ширина сліду в пучковій частині, мм	90,8	85,3	85,8
Ширина сліду в п'ятковій частині, мм	47,1	45,6	52,2

Результати та обговорення. Устілку було спроектовано на основі 3д форми сканованої поверхні відбитку стопи з урахуванням рекомендацій лікарів-ортопедів.

Профілактичні устілки призначені для зниження навантаження під час ходи, сприяють зниженню втомлюваності та являються профілактикою захворювань опорно-рухового апарату. Зі зростанням в організмі людини відбуваються певні зміни, можуть виникати певні деформації: стопа може змінювати повноту (наприклад з 3-ї повноти на 5-у), склепіння стопи можуть ставати більш плоскими. Тому устілка має бути товщою для забезпечення кращої підтримки стопи (відповідно і конструкція верху взуття має враховувати підвищену товщину даної устілки для правильної затяжки на колодку).

У багатьох пацієнтів старшого віку також може формуватись плантарний фасцит (п'яткова шпора), що виникає внаслідок збільшення ваги, може з'являтися поперечна або поздовжня клишавість (статична недостатність стоп), артрози та halgus-valgus. Тому важливими елементами устілок є пом'якшувачі у п'ятковому та пучковому відділах, оскільки саме ці відділи стопи найбільше навантажуються під час ходьби, а це може призводити до запалень та больових відчуттів. Також має бути забезпечена жорстка підтримка склепінь стопи.

Для підтримки поздовжнього склепіння стопи використовують супінатор, що розташовується з внутрішнього краю устілки між головками плеснових кісток і кісткою п'яти. Для підтримки поперечного склепіння використовують метатарзальний валик, що розташовується за головками других та третіх плеснових кісток. Висота підтримок склепінь визначається індивідуально у ортопедичних та коригуючих устілках, у анатомічних устілках їх висота має не перевищувати 4мм.

Спроектвані форми колодки та устілки мають бути виготовлені шляхом прототипування з використанням аддитивної або субтрактивної технології. В даній роботі ми використовували 3д фрезерування на 3-координатному верстаті з ЧПК. Такий станок більш доступний, простіший в роботі. Однак при роботі з таким обладнанням виникають складності у виготовленні складної просторової форми

колодки. Тому її форму було розчленовано на 4 частини (рис. 9), кожна з яких попередньо фрезерувалася на верстаті з ЧПК, а далі вони з'єднувалися між собою так, що задня (п'яткова) частина могла бути потім від'єднана для більш зручного знімання взуття з колодки.

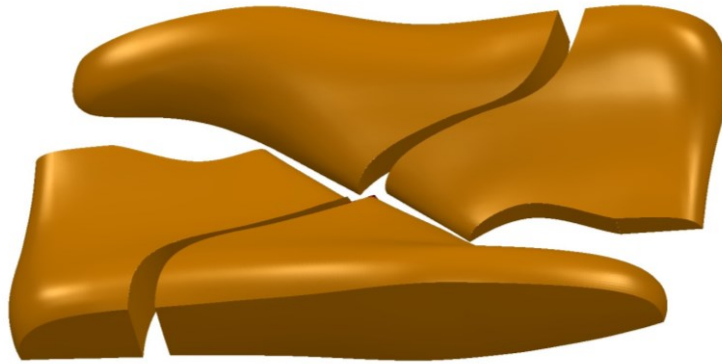


Рис. 9. Підготовка форми колодки для фрезерування на 3-координатному верстаті з ЧПК

Підготовка до виготовлення устілок та частин колодки відбувалася в програмі ArtCAM, яка дозволяє прорахувати траєкторію обробки, встановити параметри обрізки та задати інші параметри 3д-обробки для верстата ЧПК (рис. 10–12).

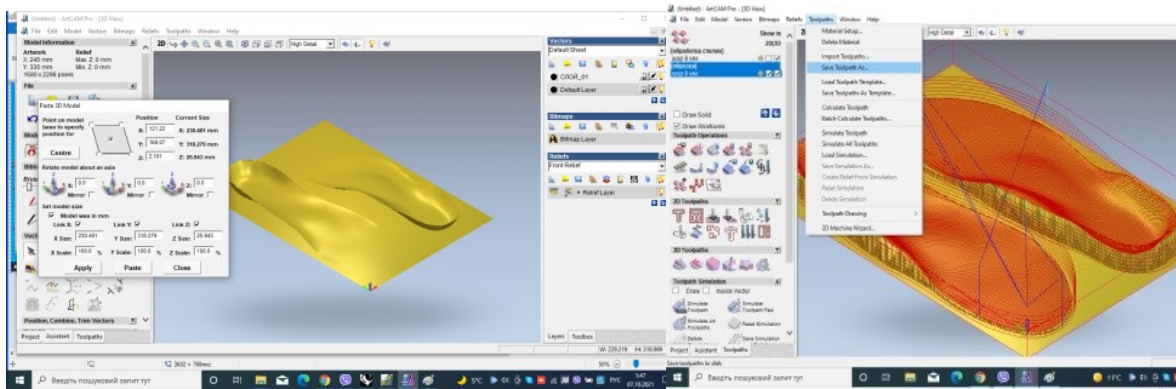


Рис. 10. Основні етапи моделювання устілки в ArtCAM



Рис. 11. фрезерована устілка для жіночих кросівок

В даній роботі на спроектованій колодці в середовищі ShoeMaker було розроблено колекцію ергономічного жіночого взуття, що складається з трьох моделей кросівок (рис. 13). Застосування потужних спеціалізованих взуттєвих комплексів (Crispin) та прогресивних універсальних програм (PowerShape), що відносяться до єдиного сімейства, дозволяє забезпечити послідовність проектного процесу та швидкість переходу від однієї стадії до іншої. Моделі взуття, конвертовані із 3d формату в 2d, зберігаються в DXF форматі, що дозволяє подальше проектування та градирування в різних 2d програмах.



Рис. 12. Фрезерування частин колодки та готова колодка



Рис. 13. Розроблені моделі жіночого спортивного взуття з анатомічною вкладною устілкою. Зд моделі (ShoeMaker) та ґрунт-моделі (USM)

Антропометричну устілку було виготовлено із EVA-пори товщиною 25 мм. Пару колодок було фрезеровано з МДФ-плити частинами, які далі склеювалися за допомогою ПВА-клею. Одну з розроблених моделей було виготовлено з натуральної шкіри на взуттєвому виробництві (рис. 14).



Рис. 14. Ергономічне закрите жіноче спортивне взуття з анатомічною вкладною устілкою. Розкрій моделі та готовий виріб

Виготовлене взуття отримало схвальні відгуки стосовно зручності при носінні. Однак серед недоліків запропонованого методу слід відмітити досить високу собівартість взуття, що виготовляється. Такий спосіб можна використовувати для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням, однак він не підходить для масового виробництва. При реалізації даного методу на масовому виробництві взуття необхідно виготовляти колодки промисловим способом із міцних пластикових заготовок. Анатомічні устілки при цьому можуть бути виготовлені способом лиття у прес-формах.

Висновки. В даній роботі запропоновано новий метод розробки та виготовлення комплексного ергономічного цифрового взуттєвого проекту на основі результатів 3д сканування стопи замовника та гіпсового зліпку, що отримано з використанням полімерної піни. Розроблений проект включає антропометрично обґрунтовану форму колодки, індивідуальну анатомічну устілку та лекала для пошиву верху взуття, розроблені у відповідності до останніх трендів моди. Процес проектування всіх просторових елементів відбувається в середовищі PowerShape, а виготовлення всіх комплектуючих (як колодок, так і анатомічних устілок) – реалізується за допомогою 3-координатного верстату з ЧПК, що забезпечує послідовний та комплексний процес обробки без необхідності застосування додаткового обладнання. Подібний спосіб розробки проекту дозволяє реалізувати виробничий процес від початку до кінця на одному підприємстві (за умови необхідного обладнання) автономно без необхідності залучення додаткових установ. Такий підхід особливо цінний для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням.

Також в роботі було створено алгоритм розробки нової персоналізованої форми колодки на основі сканованої базової (стандартної) форми та відсканованої моделі стопи згідно методу зворотного інжинірингу в середовищі Crispin LastMaker.

References

1. Dragos Besliu. Measurement Devices for Custom Shoe Manufacturing. A thesis for the degree of Master of Applied Science in Mechanical Engineering. Waterloo, Ontario, Canada, 2011, 101 p.
2. Piller F. EuroShoe Consortium: The Market for Customized Footwear in Europe – Market Demand and Consumers' Preferences, Technische Universität München, 2002.
3. Buldt A.K., Menz H.B. Incorrectly fitted footwear, foot pain and foot disorders: a systematic search and narrative review of the literature. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2018.
4. Chertenko L., Booth B. G. Modelling shape and parameterising style: an approach to the design of high-fashion shoe lasts. *Footwear Science*, vol. 14, no. 2, 2022.
5. Wang CS: An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet. *Comput Ind* 2010, 61(6): P. 532–540.
6. Yardley L., Kirby S., Ben-Shlomo Y., Gilbert R., Whitehead S., Todd C. How likely are older people to take up different falls prevention activities? *Prev. Med.* 2008, 47, 554–558.
7. Menant J. C., Steele J. R., Menz H. B., Munro B. J., Lord S. R. Effects of footwear features on balance and stepping in older people. *Gerontology*. 2008, 54, 18–23.
8. Yamaguchi T., Hokkirigawa K. Development of a high slip-resistant footwear outsole using a hybrid rubbersurface pattern", *Ind. Health* 2014, 52, 414–42.
9. Kim S. H., Ahn S. H., Jung G.S., Kim J. H., Cho Y. W. The effects of biomechanical foot orthoses on the gait patterns of patients with malalignment syndrome as determined by three-dimensional gait analysis. *J. Phys. Ther. Sci.* 2016, 28, 1188–1193.
10. Nagano H., Begg R. Shoe-insole technology for injury prevention in walking. May 2018.
11. Sarghie B., Costea M., Liute D. Anthropometric study of the foot using 3d scanning method and statistical analysis. *International Symposium in Knitting and Apparel – ISKA 2013*, June 2013.