

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРЕСИВНИХ 3D ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ВЗУТТЯ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМ ЗАМОВЛЕННЯМ

Стаття присвячена вивченню можливості використання результатів 3d сканування стопи для проектування колодки за індивідуальним замовленням в середовищі графічних САПР. Такий прогресивний метод проектування колодки вимагає нового підходу до процесу перетворення антропометричної інформації в параметри взуттєвої колодки з урахуванням фасону колодки та особливостей взуття. Запропонований алгоритм процесу проектування передбачає використання в якості вихідної інформації цифрового 3d скану стопи, плантограми та результатів ручного обміру. На прикладі кількох замовників було продемонстровано різницю між теоретично розрахованими параметрами проектованої колодки та реальними параметрами апробованої колодки. Особливо відчутна така різниця в ділянці пучків, що ускладнює використання цифрового скану стопи для проектування колодки. Таким чином, результати роботи свідчать про необхідність подальшого вдосконалення способів проектування колодки з використанням сучасних САПР та спеціального обладнання для забезпечення впровадження їх у виробництво взуття за індивідуальним замовленням.

Ключові слова: колодка, стопа, 3d сканування, антропометричні вимірювання, графічні САПР.

LYPSKYI TYMOFIY

Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF USING POSSIBILITIES OF PROGRESSIVE 3D TECHNOLOGIES FOR TAILOR-MADE SHOE DESIGN

The article is sanctified to the study of possibility of using the foot 3d scan results for tailor-made shoe lasts designing in the special graphic CAD. Such a progressive method of shoe last designing requires a new approach to the process of transforming of anthropometric information into the shoe last parameters, taking into account the shape of the last and features of the shoe. The offered algorithm of designing process envisages using as initial information of digital foot 3d scan, foot print and results of hand measurement. On the example of a few customers a difference was shown between the parameters of the theoretical designed shoe last and real parameters of the approved last. Such difference is especially perceptible in the ball area, that complicates the use of 3d scan copy of foot for shoe last designing. Thus, experiment results testify to the necessity of further perfection of methods of shoe last design with the use of modern CAD\CAM systems and special equipment for providing of introduction of them in a tailor-made shoe production.

Key words: shoe last, foot, 3d scanning, anthropometric measurements, graphic CAD.

Постановка проблеми

Сучасний темп зміни модних тенденцій та розвитку нових технологій змушує виробників взуття переглядати організаційну структуру виробничого процесу з метою підвищення мобільності та конкурентоспроможності, що досягається багатьма факторами, серед яких важливе місце займає широкий асортиментний модельний ряд та можливість швидкої зміни моделей. Це є особливо важливим в умовах виробництва взуття класу де-люкс, що виготовляється в єдиному екземплярі або малих серіях. Виготовлення взуття за індивідуальним замовленням представляє собою особливий формат організації виробничого процесу, коли кожна пара взуття має оригінальний ексклюзивний дизайн та враховує параметри стопи замовника, а також вимоги, що він висуває. Серед причин, які змушують споживачів замовляти індивідуальне взуття, можна сформулювати наступні:

- Нестандартні параметри стопи замовника (великий або малий розмір, широка або вузька повнота тощо).
- Наявність деформацій або патологічних відхилень (потребують ортопедичного або профілактичного взуття).
- Бажання мати оригінальну та унікальну пару взуття індивідуального дизайну.
- Необхідність врахування певних антропометричних, ергономічних, функціональних та інших вимог до моделі (вимог до конструкції верху, форми низу, структури матеріалу, колірної гами тощо).

Аналіз останніх джерел

Одним з основних показників якості ексклюзивного взуття є його зручність, яка найбільшою мірою залежить від правильного проектування взуттєвої колодки [1, 2]. Неправильно сконструйоване взуття, що виготовляється на нераціональних колодках – основна причина розвитку патологій стоп.

Основою для проектування колодки слугує стопа замовника: її форма та параметри, для отримання яких проводяться антропометричні дослідження. На підготовчому етапі антропометричних досліджень вибираються методи отримання інформації. З безлічі традиційних методів в даний час найбільшого поширення набули метричний, плантографічний, метод гіпсування, отримання перетинів за допомогою контурографів, фотограмметричний, рентгенографічний та ін. [2, 3].

Метричний метод вимірювань передбачає визначення на стопі розмірів трьох видів: лінійних (довжина, ширина, висота), об'ємних (обхвати) і кутових.

Плантаграфічний метод полягає в отриманні відбитка стопи, його візуальною оцінкою і проведенні графіко-розрахункового аналізу.

Гіпсування стопи передбачає отримання її гіпсового зліпка. З гіпсового зліпка при необхідності можна знімати параметри метричним методом вимірювань, розрізаючи зліпок отримують інформацію про форму і розміри перетинів стопи.

Профілювання контурографом також дозволяє отримати аналогову інформацію про перерізи стопи.

Фотограмметричний метод дає можливість визначити розміри і форму об'єкта на плоскому фотографічному зображенні. Рентгенологічний метод дає повну картину анатомічного (скелетного) будови стопи.

Таким чином, існує широкий спектр пристроїв і приладів для здійснення антропометричних досліджень – від простих механічних до оптико-електронних. Стопа є складним геометричним тілом, тому механічні прилади не дають можливості точного виміру її параметрів, а також повного збігу повторних замірів. З цієї точки зору більш перспективні оптичні та оптико-електронні методи, які дозволяють одночасно отримувати точні вимірювання всіх необхідних параметрів. Найбільш прогресивними та сучасними є безконтактні способи антропометричних досліджень за допомогою спеціалізованих 3d сканерів, які дають вичерпну інформацію про параметри, плантограму сліду та просторову форму стопи [4]. Такі методи найбільш точні, досить швидкі в реалізації, та надають інформацію в цифровому форматі, сумісному з сучасними прогресивними системами автоматизованого проектування та обладнанням для прототипування, що зрештою дає можливість автоматизації проектних етапів виробництва.

Виклад основного матеріалу

Виготовлення взуття за індивідуальним замовленням має свої особливості виробництва та виконання етапів конструкторської підготовки виробництва, в тому числі і антропометричних досліджень стопи клієнта. Той чи інший спосіб отримання вихідної інформації для проектування колодки залежить від призначення взуття, особливостей стопи замовника, його бюджету, способу виготовлення взуттєвої колодки та особливостей проведення інших етапів супутніх проектних робіт.

Індивідуальна колодка за параметрами стопи замовника може бути виготовлена такими способами:

- Гіпсуванням стопи (рис. 1).
- Коригуванням підібраної типової колодки з наявного асортименту (рис. 2).
- Виготовленням нової форми із пластикової або дерев'яної заготовки ручним випилюванням.
- Виготовленням нової форми із заготовки фрезеруванням на верстаті з ЧПК (рис. 3).



Рис. 1. Виготовлення колодки за допомогою гіпсування стопи

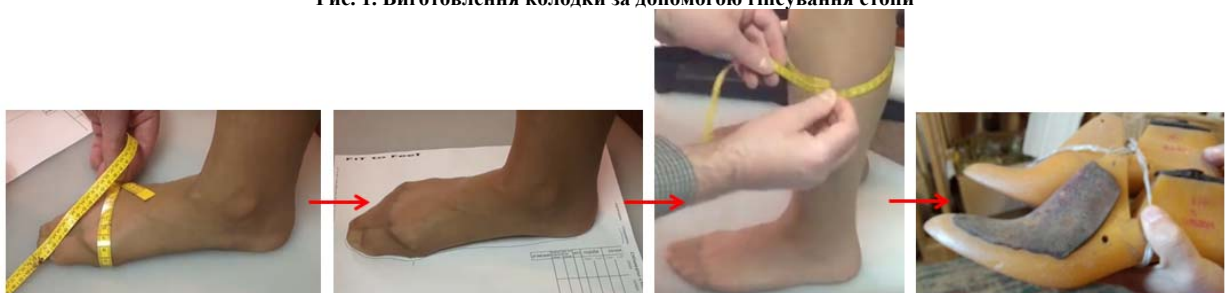


Рис. 2. Виготовлення колодки шляхом коригування її форморозмірів у відповідності до параметрів стопи

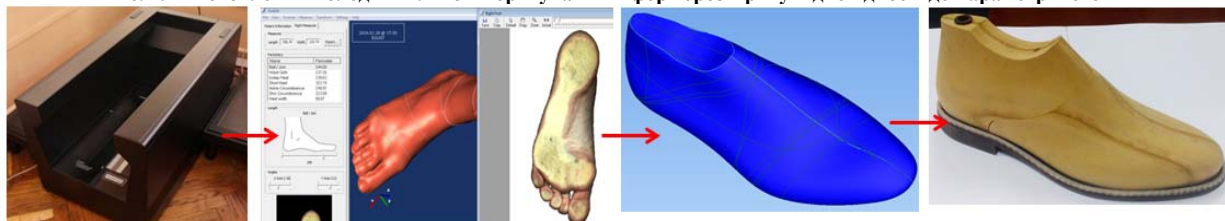


Рис. 3. Виготовлення нової форми колодки за допомогою автоматизованого способу проектування з використанням сучасних 3d технологій

Гіпсування стопи використовується для виготовлення ортопедичного взуття для людей з патологіями або деформаціями стоп. Однак такий спосіб дає в результаті гіпсову колодку, яка є дуже крихка та не дозволяє повноцінно проводити обтяжно-затяжні процеси виробництва шкіряного взуття. Така

колодка практично не враховує технологічні та естетичні вимоги та не підходить для виготовлення модельного та повсякденного взуття. Коригування підібраної типової колодки з наявного асортименту виконується за допомогою набивання на поверхню колодки спеціальних накладок в залежності від місця розташування та ступеню відхилень стопи замовника від типових параметрів стопи даного розміру. Такий спосіб вимагає дуже високої кваліфікації майстра та не забезпечує високої точності проектування. Крім того, при редагуванні пари колодок важко досягти абсолютної ідентичності форми лівої та правої півпар. Фактично жоден з цих двох способів створення колодок не дає можливостей для дизайну принципово нової оригінальної форми колодки. Виготовлення колодки нового дизайну можливе тільки на основі пластикової або дерев'яної заготовки шляхом випилювання за допомогою столярних інструментів або фрезерування на верстаті з числовим програмним керуванням. Ручне випилювання колодки – процес дуже важкий та тривалий, вимагає від майстра високої кваліфікації, значного практичного досвіду та майже унікальних навичок, адже майстер працює і як художник-скульптор, і як лікар-ортопед, і як столяр. Такий спосіб виробництва колодки застосовується італійськими майстрами на деяких колодочних підприємствах для виготовлення окремих еталонів з підвищеними естетичними вимогами, що далі слугують базою для розробки серії колодок. Такий спосіб не підходить для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням, де необхідно виготовляти нову пару колодок для кожного клієнта.

Великі перспективи представляє виготовлення нової форми із заготовки фрезеруванням на верстаті з ЧПК. Такий спосіб повністю відповідає сучасним вимогам мобільності та ефективності виробництва в автоматизованому форматі, він не має обмежень щодо асортименту, параметрів, форм або фасонів колодок, дозволяє досягти високої продуктивності процесу в тому числі за рахунок цифрового формату збереження бази даних, при якому легко можна створювати нові форми колодок на основі існуючих.

Такий спосіб виготовлення взуттєвої колодки передбачає проектування її поверхні в середовищі спеціалізованих графічних САПР з подальшою підготовкою інформації для передачі на верстат з ЧПК [5]. Найбільшу ефективність процесу проектування-виготовлення колодки за індивідуальним замовленням можна досягти саме за такого способу при використанні високопродуктивного сучасного способу отримання базової антропометричної інформації за допомогою спеціалізованого 3d сканера. Однак такий метод виготовлення колодки вимагає нового підходу до процесу проектування її параметрів та форми.

В даній роботі проведено аналіз можливості використання автоматизованого способу проектування колодок з використанням результатів 3d сканування стопи для виготовлення взуття за індивідуальним замовленням. В якості вихідної інформації використовується сканована 3d копія стопи, розмірні параметри та плантограма досліджуваної стопи, які автоматично отримуються в процесі 3d сканування. Параметри основної частини колодки розраховуються з урахуванням біомеханічних та фізіологічних особливостей стопи, технологічних вимог, а також таких факторів як призначення (модельне, повсякденне, профілактичне, ортопедичне тощо) та тип взуття (туфлі, черевики, чобітки та ін.). Вимоги дизайну впливають в основному на пластику ліній та форму носкової частини колодки.

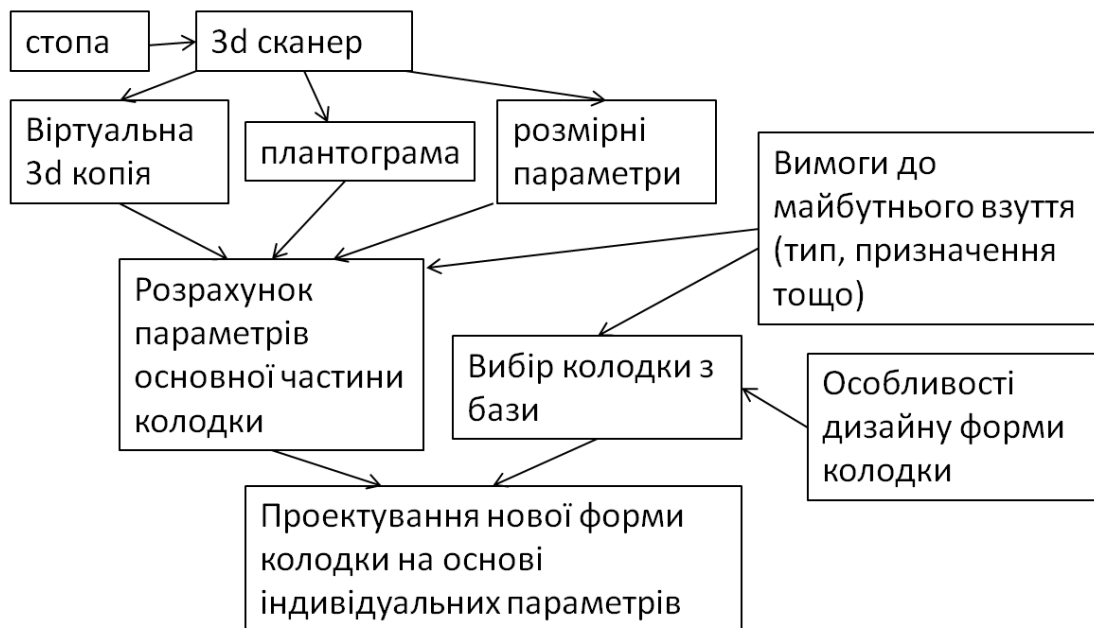


Рис. 4. Схема процесу проектування форми колодки на основі результатів 3d сканування стопи

Для обмірювання параметрів стопи клієнта в сфері виготовлення взуття за індивідуальним замовленням досі традиційно використовують ручні контактні способи отримання інформації: стопомір, вимірювальна стрічка, плантограма тощо. Метою дослідження було порівняння результатів контактних антропометричних вимірювань з сучасними безконтактними за допомогою 3d сканера для подальшого використання при виготовленні індивідуальних колодок.

Стопа замовника в ході роботи обмірялася вручну та сканувалася сканером inFoot 3d. Результати дослідження представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння розмірів стопи замовників, отриманих різними методами дослідження

Параметри стопи, мм.		1	2	3	4	5	6	7	8
Довжина	Ручним вимірюванням	255	244.5	242	233	248	248	283	288
	по сканованій 3d копії	254.2	242.9	240.3	232.7	246	246.4	282.2	288.0
Відхилення Δ , мм		0.8	1.6	0.7	0.3	2.0	1.6	0.8	0.0
Обхват через внутрішній та зовнішній пучок	Ручним вимірюванням	235	221	254	220	250	220	258	281
	по сканованій 3d копії	243.7	229.5	261.3	232.0	262.5	233.0	266.5	293.2
Відхилення Δ , мм		-8.3	-8.5	-7.3	-12.0	-12.5	-13.0	-8.5	-12.2
Обхват по внутрішньому пучку	Ручним вимірюванням	228.5	220	248	216	248	218	250	268
	по сканованій 3d копії	231.8	227.2	252.8	222.4	257.0	226.1	256.2	274.8
Відхилення Δ , мм		-3.3	-7.2	-4.8	-6.4	-9.0	-8.1	-6.2	-6.8
Обхват по середині стопи	Ручним вимірюванням	225	222	241	220	246	216	264	290
	по сканованій 3d копії	225.6	228.2	243.3	219.5	248.6	218.0	268.7	296.7
Відхилення Δ , мм		-0.6	-6.2	-2.3	0.5	-2.6	-2.0	-4.7	-6.7
Обхват косоного підйому довгого	Ручним вимірюванням	335	333	345	314	356	330	390	390
	по сканованій 3d копії	330.7	332.1	343.6	315.6	354.2	333.0	393.8	388.0
Відхилення Δ , мм		4.3	0.9	1.4	-1.6	1.8	3.0	-3.8	2.0
Ширина стопи в пучках (по габариту)	Ручним вимірюванням	98	94	108	98	106	98	107	119
	по сканованій 3d копії	96.7	93.7	108.5	95.7	104.8	97.2	106.0	119.8
Відхилення Δ , мм		1.3	0.3	-0.5	2.3	1.2	0.8	1.0	-0.2
Ширина стопи через внутрішній-зовнішній пучки по відбитку	Ручним вимірюванням	89	86	100	85	96	86	97	106
	по сканованій 3d копії	92.0	87.1	101.8	87.3	98.2	87.5	100.2	109.3
Відхилення Δ , мм		-3.0	-1.1	-0.8	-2.3	-2.2	-1.5	-3.2	-3.3
Ширина стопи на рівні середини п'ятки по габариту	Ручним вимірюванням	67	68	69	61	71	67	75	77
	по сканованій 3d копії	65.4	66.4	68.8	60.1	69.4	65.1	72.4	76.5
Відхилення Δ , мм		1.6	1.6	0.2	0.9	1.6	1.9	2.6	0.5
Ширина стопи на рівні середини п'ятки по відбитку	Ручним вимірюванням	43	51	52	40	50	50	58	56
	по сканованій 3d копії	47.0	53.7	54.3	44.3	53.8	53.3	61.5	58.7
Відхилення Δ , мм		-4.0	-2.7	-2.3	-4.3	-3.8	-3.3	-3.5	-2.7

Порівняння результатів свідчить про значну різницю у вимірюваннях. Особливо велика різниця спостерігається в обхватних параметрах. Це можна пояснити трьома причинами:

- різна точність вимірювань;
- технологія ручних контактних обмірів вимірювальною стрічкою передбачає деяке стискання

м'яких тканин стопи, чого не спостерігається при безконтактних обмірах;

- відхилення в розташуванні поперечних перерізів, на рівні яких здійснюється вимірювання обхватного параметру.

Далі на основі отриманих результатів антропометричного дослідження вираховувалися теоретичні параметри майбутньої колодки для одного із замовників з урахуванням факторів біомеханіки, фізіології, згідно з рекомендаціями знаних вчених [6, 1], а також естетичних та технологічних вимог.

Розраховані параметри колодки було порівняно з фактичними розмірами реальної колодки замовника, яка була апробована раніше для виготовлення пари взуття та отримала схвальні відгуки щодо опірності та зручності. Колодка жіноча має фасон 8182 та призначена для виготовлення закритого взуття весняно-літнього сезону (туфлі, напівчеревики, ботильони тощо). Для дослідження та порівняння параметрів колодку було відскановано за допомогою 3d сканера InFoot 3d.

Таблиця 2

Порівняння теоретичних та реальних параметрів колодки з параметрами стопи замовника

Параметри, мм.	Стопа	Колодка віртуальна з теоретично обґрунтованими параметрами		Колодка реальна апробована	
		Розмір, мм	Відхилення від розміру стопи, Δ , мм	Розмір, мм	Відхилення від розміру стопи, Δ , мм
Довжина, мм	246	265	19	265	19
Обхват через внутрішній та зовнішній пучок, мм	262.5	261	-1.5	248	-14.5
Обхват по внутрішньому пучку, мм	257.0	252	-5.0	250	-7.0
Обхват по середині стопи, мм	248.6	249	0.4	250	1.4
Обхват косоного підйому, мм	354.2	359	4.8	359	4.8
Ширина в пучках по габариту, мм	104.8	99	-5.8	95	-9.8
Ширина в пучках по сліду, мм	98.2	97	-1.2	94	-4.2
Ширина на рівні середини п'ятки по габариту, мм	69.4	67	-2.4	66	-3.4
Ширина на рівні середини п'ятки по сліду, мм	53.8	59.5	5.7	59	5.2

З таблиці видно, що найбільші відхилення також спостерігаються в пучковій ділянці колодки: параметри реальної колодки значно вужчі за теоретичні. Як свідчить багаторічний практичний досвід виробників взуття за індивідуальним замовленням, таке зменшення периметрів пучкової частини колодки порівняно з антропометричними розмірами дійсно часто має місце та пояснюється звичкою споживачів носити вузьке взуття, яке має більш естетичний вигляд та витончений силует. Подібне часткове ігнорування раціональних та комфортних параметрів внутрішньої форми взуття може бути виправдане фізіологічними особливостями здорової стопи дорослої людини, які включають припустиме стиснення стопи матеріалами взуття. Особливо виражений цей ефект у модельному вишуканому взутті, яке не висуває жорстких вимог зручності та комфортності.

Порівнявши скановані 3d копії стопи та апробованої колодки, бачимо значну різницю не тільки за параметрами, але і за формою, що треба враховувати в ході подальшої розробки внутрішньої форми взуття.

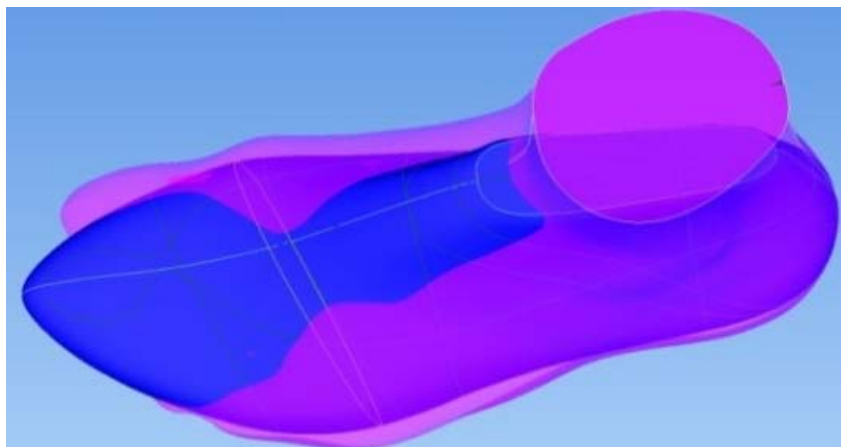


Рис. 4. Порівняння сканованої 3 d форми стопи та колодки

Висновки

Результати проведених досліджень дозволяють стверджувати про необхідність подальшого вдосконалення методів проектування взуттєвої колодки за індивідуальним замовленням для впровадження у виробництво з використанням сучасних прогресивних технологій та автоматизованого обладнання.

Література

1. Чертенко Л.П. Особенности проектирования рациональной формы обувной колодки с применением САПР / Л.П. Чертенко, В.П. Коновал // Метрология, стандартизация и сертификация изделий сервиса: теория и практика. Шахты : международный сборник научных трудов. – 2007. – С. 97–100.
2. Ченцова К.И. Стопа и рациональная обувь / Ченцова К.И. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 216 с.
3. Фукин В.А. Развитие теории и методологии проектирования внутренней формы обуви / Фукин В.А., Буй В.Х. – Москва, 2015. – 410 с.
4. Witana C.P., Xiong S., Zhao J. and Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different method // International Journal of Industrial Ergonomics, 36, 2006 – P. 789–807.
5. Орловський Б.В. CALS-технології об'єктно-орієнтованого проектування і виготовлення взуття на засадах програмного комплексу DelCAM CRISPIN / Б. В. Орловський // Вісник КНУТД. – 2012. – № 1. – С. 22–33.
6. Лыба В.П. Расчетный метод преобразования формо-размеров стопы в параметры рациональной внутренней формы обуви / В.П. Лыба, В.А. Фукин // Кожевенно-обувная промышленность. – М., 1987. – № 12. – С. 41–42.

References

1. Chertenko L.P. Osobennosti proektirovaniya racionalnoj formy обувной колодки s primeneniem SAPR / L.P. Chertenko, V.P. Konoval // Metrologiya, standartizatsiya i sertifikatsiya izdelij servisa: teoriya i praktika. Shahty : mezhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov. – 2007. – S. 97–100.
2. Chencova K.I. Stopa i racionalnaya obuv / Chencova K.I. – M. : Legkaya industriya, 1974. – 216 s.
3. Fukin V.A. Razvitie teorii i metodologii proektirovaniya vnutrennej formy obuvi / Fukin V.A., Buj V.H. – Moskva, 2015. – 410 s.
4. Witana C.P., Xiong S., Zhao J. and Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different method // International Journal of Industrial Ergonomics, 36, 2006 – R. 789–807.
5. Orlovskiy B.V. CALS-tekhnologii ob'ektno-orientovanoho proektuvannia i vyhotovlennia vzuttia na zasadakh programnoho kompleksu DelCAM CRISPIN / B. V. Orlovskiy // Visnyk KNUTD. – 2012. – № 1. – S. 22–33.
6. Lyba V.P. Raschetnyj metod preobrazovaniya formo-razmerov stopy v parametry racionalnoj vnutrennej formy obuvi / V.P. Lyba, V.A. Fukin // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost. – M., 1987. – № 12. – S. 41–42.

Рецензія/Peer review : 9.06.2019 р.

Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.І. Чупринка