

ЧЕРТЕНКО ЛІЛІЯ

Київський національний університет технологій та дизайну

e-mail: lily-che@ukr.net

КЕРНЕСІ ВІКТОРІЯ

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0000-0003-0572-4107>e-mail: Kievfoot@ukr.net

КУЗІНА НАТАЛІЯ

Київський національний університет технологій та дизайну

<https://orcid.org/0009-0009-2586-3762>e-mail: kuzinan953@gmail.com

ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ ОРТОПЕДИЧНОГО ВЗУТТЯ: КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ

В статті розглянуто вдосконалення способу розробки та виготовлення ортопедичного взуття з урахуванням факторів комфорту, функціональності та естетичності на прикладі індивідуального проєкту взуття для пацієнта з вкороченням кінцівки. У ході досліджень використовувалися: методи 3D антропометричних досліджень та аналізу вихідної інформації, гіпсування та сканування стоп пацієнтів, а також метод зворотного інжинірингу для проєктування моделі колодки та ортопедичної устілки-компенсатора при вкороченні кінцівки. Результатом роботи є розроблений проєкт взуття, який відповідає індивідуальним вимогам пацієнта за рахунок врахування факторів анатомічних та фізіологічних особливостей стопи та функціональних вимог користувача.

Ключові слова: взуттєва колодка, ортопедичні устілки, антропометричні параметри, 3D сканування стопи, проєктування взуття.

CHERTENKO LILIA, KERNESH VIKTORIYA, KUZINA NATALIA

Kyiv National University of Technologies and Design

INDIVIDUALIZATION OF ORTHOPEDIC FOOTWEAR: KEY FACTORS IN DESIGN

The article considers the improvement of the method of development and manufacturing of orthopedic footwear taking into account the factors of comfort, functionality and aesthetics on the example of an individual shoe design for a patient with limb shortening. The research used: methods of 3D anthropometric research and analysis of initial information, plastering and scanning of patients' feet, as well as the reverse engineering method for designing a model of a shoe and an orthopedic insole-compensator for limb shortening. The result of the work is a developed shoe design that meets the individual requirements of the patient by taking into account the factors of anatomical and physiological features of the foot and the functional requirements of the user. Today, the individualization of orthopedic footwear is an important task, since the compliance of footwear with the requirements and anthropometric parameters of the patient affects his comfort and health. Each person has his own anatomical features that need to be taken into account when designing footwear. That is why it is important to develop footwear that takes into account the individual requirements of each person, and for orthopedic footwear this is critically important. Individualized orthopedic footwear, with the right approach to design and production processes, helps to improve foot support, ensuring the correct position when walking and reducing the load on the joints. The use of modern technologies and materials allows you to perform this task effectively. Today, the main task in the manufacture of orthopedic footwear is to create products that meet the individual requirements of each consumer. Properly designed footwear can be a guarantee of improving the functionality of the lower extremities and preventing further complications.

Keywords: shoe insert, orthopedic insoles, anthropometric parameters, 3D foot scanning, shoe design.

Постановка проблеми

Індивідуалізація ортопедичного взуття є важливим завданням, оскільки відповідність взуття вимогам та антропометричним параметрам пацієнта впливає на його комфорт та здоров'я. Кожна людина має свої анатомічні особливості, які потребують врахування при проєктуванні взуття. Саме тому важливо розроблювати взуття, яке враховує індивідуальні вимоги кожної людини, а для ортопедичного взуття це критично важливо. Індивідуалізоване ортопедичне взуття при правильному підході до проєктно-виробничих процесів допомагає поліпшити підтримку стопи, забезпечуючи правильне положення при ходьбі та зменшити навантаження на суглоби. Застосування сучасних технологій та матеріалів дозволяє виконувати цю задачу ефективно. На сьогоднішній день основним завданням при виготовленні ортопедичного взуття є створення виробів, які відповідають індивідуальним вимогам кожного споживача. Правильно спроектоване взуття може стати запорукою покращення функціональності нижніх кінцівок і запобігти подальшим ускладненням.

Аналіз останніх досліджень

Дослідження стоп та врахування функцій та параметрів ортопедичних елементів на дизайн взуття є важливою частиною процесу вдосконалення комфортного взуття, яке не лише забезпечує зручність, але й покращує функціональність і підтримку стоп. У даному напрямку багатьма науковцями були проведені дослідження, що допомогли зрозуміти, як анатомічні особливості стопи впливають на ефективність взуття та як можна поліпшити його конструкцію для запобігання або лікування різноманітних захворювань стоп.

В роботі М. Gímulová «Ортопедичне взуття і його вплив на корекцію деформацій» досліджено ортопедичні елементи взуття, які мають вплив на профілактику та лікування деформацій стопи. Дана робота сприяла розробці рекомендацій щодо правильної конструкції взуття для людей з різними ортопедичними

проблемами, включаючи хворобу Кагера і плоскостопість[1]. В роботах В. Коновала, Н. Омельченко, К. Качура «Дослідження чинників, які впливають на індивідуальну анатомічну змінність людини» досліджено вплив ортопедичних елементів на комфорт і функціональність взуття для людей із різними видами деформацій стопи [2]; в роботі Г. Лобанова, А. Домбровського «Дослідження індивідуальних особливостей стопи та її адаптація до взуття» досліджено індивідуальні особливості будови стопи має ключове значення для розробки взуття, яке враховує фізіологічні та анатомічні характеристики стопи. Її суть полягає у глибокому аналізі параметрів стопи, що впливають на комфорт і функціональність взуття, а також у розробці підходів для оптимального врахування цих параметрів у процесі проектування.

Вивчені дослідження та практичні розробки орієнтовані на покращення якості життя людей з особливими потребами за рахунок забезпечення правильного - проектування ортопедичного взуття [3, 4].

Виклад основного матеріалу

Метою проектування ортопедичного та профілактичного взуття полягає в розробці ергономічного виробу, що відповідає актуальним функціональним вимогам та допомагає підтримувати оптимальний рівень фізичної активності для користувачів.

Проектування ортопедичного взуття є важливим етапом у забезпеченні здоров'я та комфорту людей, які мають фізіологічні зміни в розвитку стопи. Головним завданням даного процесу є розробка взуття, яке не лише відповідає анатомічній будові стопи, але також підтримує її правильне функціонування. У процесі проектування важливо врахувати фізіологічні особливості, клінічний стан стопи та специфіку різних ортопедичних захворювань. Також слід враховувати в розробці даних виробів поєднання функціональності та естетики. Багато людей, які мають захворювання стоп, не бажають жертвувати стилем заради комфорту. Сучасні технології проектування ортопедичного взуття роблять процес виготовлення більш ефективним і точним. Одними з ключових інновацій є застосування САД-систем для 3D-моделювання елементів форми взуття та оснастки. Ці технології скорочують час на виготовлення прототипів та зменшують кількість помилок, а також дозволяють забезпечити наступну реалізацію проекту в матеріалі за допомогою прогресивних САМ технологій[5].

Одним з найбільш прогресивних та екологічно безпечних способів прототипування та виготовлення просторових елементів взуття є друк на 3D-принтерах, який дозволяє виготовляти індивідуальні елементи виробу з різних матеріалів. Ці технології відкривають нові можливості для створення комфорту і підтримки здоров'я, роблячи ортопедичне взуття доступнішим та зручнішим для пацієнтів[6-7].

Найбільш точним, інформативним та ефективним способом отримання вихідної антропометричної інформації про стопу пацієнта є індивідуальне 3д сканування стопи, яке дозволяє отримати детальну інформацію про форму та розміри стопи, що є основою для розробки внутрішньої форми взуття[8].

Вихідними даними для процесу проектування напівчеревикив літнього типу з черезпідемним ременем ортопедичного призначення є інформація про форму та параметри стопи пацієнта, отримана шляхом комп'ютерної діагностики стопи, збір медичних заключень та врахування індивідуальних вимог.

Досліджуючи антропометричні особливості стоп пацієнтки, їх клінічний діагноз та медичні рекомендації, було виявлено, що у пацієнтки діагностовані відхилення в розвитку стопи, що підтверджується візуальним оглядом цифрових 3д сканів стоп та порівнянням параметрів лівої та правої стопи. Вони виражаються в укороченні кінцівок по висоті та довжині сліду (табл.1).

Таблиця 1

Заміри стопи для індивідуального замовлення на виготовлення ортопедичного взуття з застосуванням ортопедичних устілок

№п/п	Параметри стопи	Ліва стопа, мм	Права стопа, мм	Параметри ортопед.устілки, мм
1	Укорочення кінцівки	45	-	45 в п'ятковій частині, 37 - геленковій частині, 25- пучковій, 23 -носківій
2	Довжина стопи	270	275	+5
3	Обхват в пучках	230	225	
4	Обхват прямиий	235	240	
5	Обхват косий	335	335	
6	Обхват щиколотки	245	255	

Для виготовлення якісного ортопедичного взуття було розроблено індивідуальний проект, який включає комп'ютерне сканування стопи, де враховано анатомічні особливості стопи та медичні рекомендації. Для реалізації виробу в матеріалі застосовано матеріали, які здатні витримувати навантаження і зберігати свою форму під час експлуатації.

Процес отримання вихідної інформації для проекту в рамках підготовки до проектування представленою моделі взуття та допоміжних ортопедичних елементів складається з декількох етапів:

- дослідження вимог пацієнтів та аналіз стоп - на даному етапі проводиться консультація зі спеціалістом, який оцінює стан пацієнта та визначає потреби в корекції; збираються дані про анатомічні особливості стопи, а також про спосіб життя та активність пацієнта;

- 3д сканування стопи за допомогою спеціального 3д сканера,

- дослідження з використанням комп'ютерної тензометрії з отриманням цифрових відбитків стоп для аналізу розподілу ваги тіла по всій їх поверхні та отримання даних про слабкість або нерівномірності функціонування м'язів стопи;

- ручний обмір стопи та дослідження із застосуванням плантографії для отримання графічного відбитка підошовної поверхні стоп для контролю основних антропометричних параметрів для подальшого проєктування взуття (Рис.1.).

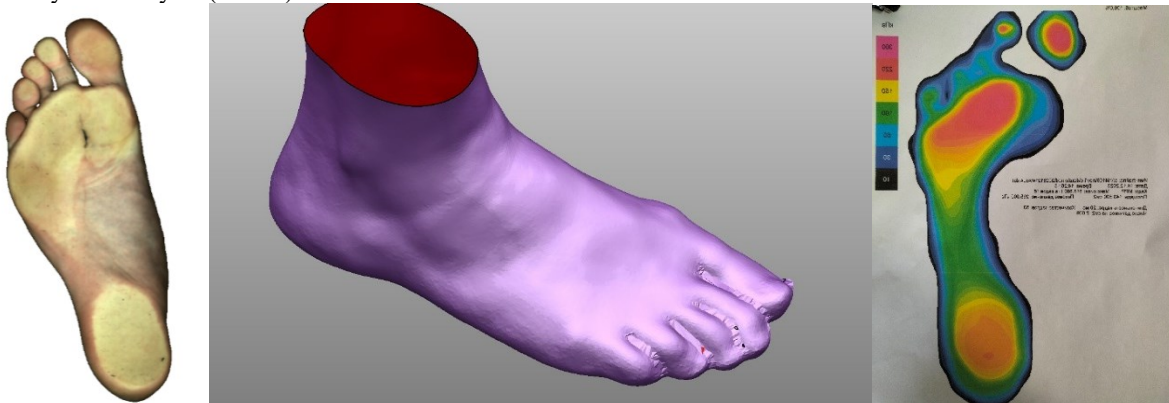


Рис.1. Вихідна інформація для проєктування ортопедичного взуття за індивідуальним замовленням

Головним фактором, який впливає на якість ортопедичних виробів є визначення індивідуальних вимог до даного взуття та врахування медичних висновків. Також важливим аспектом на даному етапі є підбір матеріалів, з яких виготовляється взуття. Вони повинні бути легкими, дихаючими та стійкими до експлуатаційних вимог. Тому було обрано для виготовлення зовнішніх деталей верху натуральні шкіри ялівки хромового методу дублення, для підкладки застосовано шкіри підкладкові (свинні), для зміцнення зовнішніх деталей та запобігання зміни форми виробу застосовуються термопластичні матеріали на нетканій основі для міжпідкладки. Для деталей підошви використовуються матеріали EVA.

Застосування цифрових технологій в рамках даного проєкту включає два основні етапи:

- застосування CAD-систем, які дозволяють створювати детальні тривимірні моделі взуття та проєктувати форму елементів форми та оснастки, що значно спрощує процес дизайну;

- застосування САМ систем для реалізації змодельованих елементів форми в матеріалі за допомогою верстату з ЧПК

Розробка форми колодки відбувалася в середовищі спеціалізованого програмного середовища Stripin LastMaker (Рис.2.). Виготовлення колодки в матеріалі відбувалося за допомогою 4-вісьового верстату з ЧПК із бруска натуральної деревини. Підготовка розробленої цифрової форми до фрезерування на цифровому обладнанні здійснювалася в середовищі САМ системи PowerMill.

В сучасних виробничих реаліях є актуальним використання комбінованих технологій виготовлення виробів, коли цифрові технології ефективно поєднуються з традиційними. В даній роботі макет оснастки створювали за допомогою вакуумних установок; фрезерування дерев'яних колодок на верстатах з ЧПК з наступним ручним корегуванням згідно результатів тестової примірки.

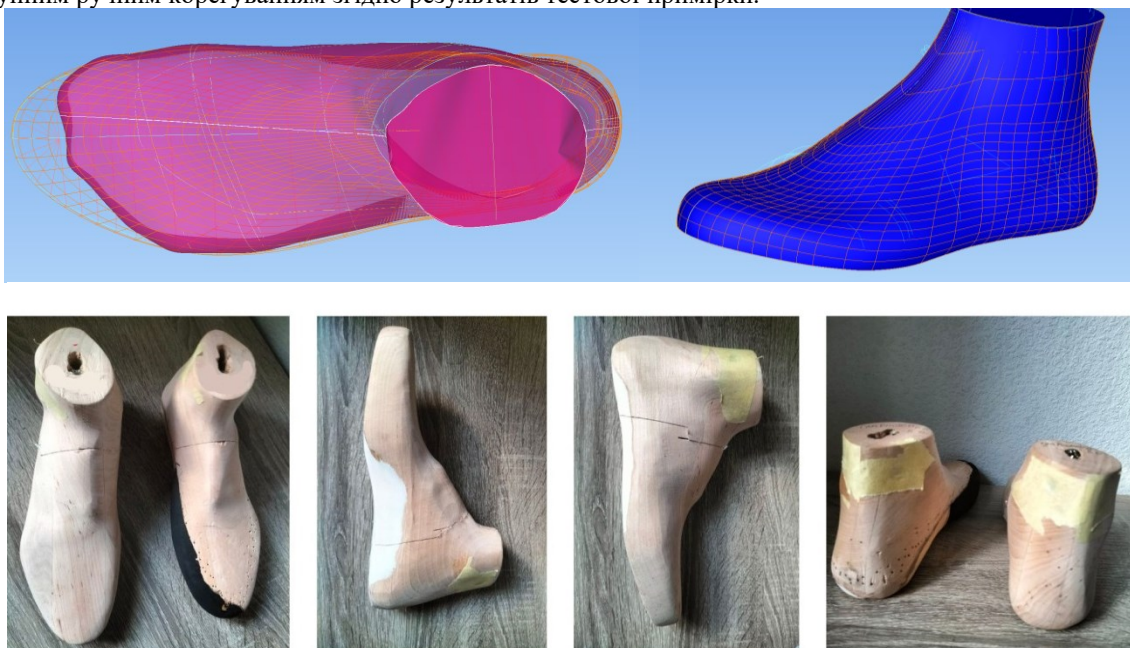


Рис.2. Розробка та виготовлення оснастки за індивідуальним замовленням для проєктування ортопедичного взуття, використовуючи CAD\САМ технології

При проектуванні жіночих напівчеревинок літнього типу, забезпечуються зручність взування за рахунок спеціальної конструкції верху, яка має широке розкриття берців, що переходять в черезпідйомний ремінь, та застібку «велкро». Запропонована конструкція напівчеревинок літнього типу передбачає завищене положення точки по п'ятковій частині висоти берців на 15 мм порівняно з типовими класичними конструкціями напівчеревинок, що дозволить вставити амортизаційну подушку для пом'якшення п'яткового контуру виробу та застосувати завищеної конструкції жорсткого задника для кращого фіксування стопи; застосування черезпідйомного регульованого ремня дозволить збільшувати внутрішній об'єм взуття в частині косоного підйому (Рис.3).

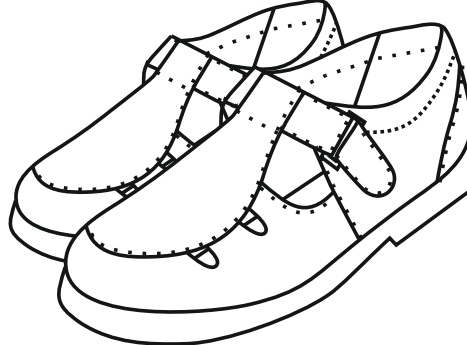


Рис.3. Ескіз жіночих напівчеревинок літнього типу

Для побудови лекал верху жіночих літніх напівчеревинок використано методику адаптованого італійського способу. При нанесенні конструктивних ліній на поверхню колодки враховувалися основні антропометричні точки, які використовуються при побудові взуття – точка висоти п'яткової частини, точка згину стопи, точка мишілки та інші. При проектуванні конструктивних ліній та деталей враховували індивідуальні потреби пацієнта. Особливістю побудови даної моделі було те, що розробка лекал виконувалася індивідуально для лівої та правої стопи з урахуванням внутрішніх та зовнішніх анатомічних відхилень, а також враховувалися укорочення кінцівки по висоті. Одним з найважливіших елементів, що забезпечує можливість пацієнтки вести активне життя, є ортопедична устілка, яка компенсує вкорочення лівої кінцівки, та проектується на основі анатомічних особливостей стопи[9-10].

Процес побудови моделі верху взуття передбачає обклеювання поверхні колодки липкою стрічкою для подальшої розробки конструкції верху згідно італійського методу (Рис.4-5.) [11-12]. Процес моделювання виконується на підготовленій поверхні колодки, встановленій на виготовлену ортопедичну устілку



Рис.4. Підготовка оснастки до проєктування ортопедичного взуття



Рис.5. Процес проєктування ортопедичного взуття з урахуванням анатомічних особливостей стопи

Після перевірки тестового зразка виконується корегування та доопрацювання отриманих шаблонів деталей для лівої та правої стопи з урахуванням індивідуальних особливостей зовнішньої та внутрішньої сторони. Враховуючи значне анатомічне порушення в розвитку лівої стопи та на основі встановленого діагнозу укорочення стопи на 45 мм, в даному проєкті передбачено виготовлення ортопедичної устілки перемінної товщини: 45 мм в п'ятковій, 37 мм в геленковій, 25 мм в пучковій та на 23мм в носковій частинах. Дані параметри враховуються при проектуванні конструкції верху шляхом додавання до основного контуру моделі по нижній грані затяжної кромки (Рис.6.).

Завершальний етап розробки лекал є внесення коректив на основі результатів попередніх примірок виготовленого макету взуття та зворотного зв'язку від користувачів.

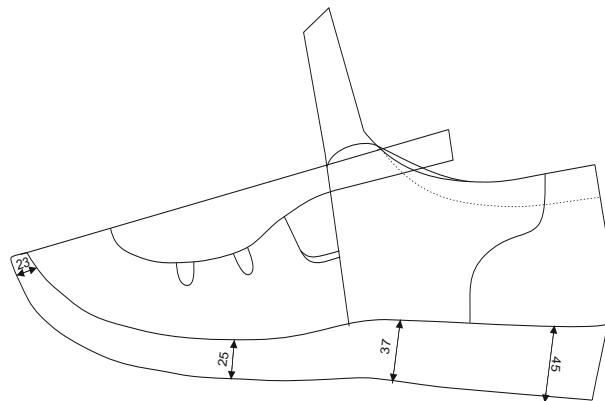


Рис.6. Побудова жіночих напівчеревинок

Використовуючи індивідуальний підхід до розробки ортопедичного взуття, враховуючи тенденції моди та вимоги пацієнта, дизайнери можуть впроваджувати нові моделі взуття, які будуть вмещувати у своїй конструкції ортопедичні елементи та за зовнішнім виглядом відповідати трендам сьогодення (Рис.7.).



Рис.7. Моделі взуття, які вмещують у своїй конструкції ортопедичні елементи

Висновки. В даній роботі було розроблено та виконано за допомогою використання цифрових технологій, індивідуальний проект ортопедичного взуття для пацієнтки з вкороченням кінцівки, враховуючи основні вимоги функціональності, ергономічності та естетичності.

Результати проведених досліджень дозволяють стверджувати про можливість ефективного поєднання функціональної конструкції ортопедичного взуття з актуальним естетичним дизайном за умови ефективного використання цифрових технологій на різних етапах проектно-виробничих процесів. При цьому існує необхідність подальшого вдосконалення вимог до такого взуття з урахуванням ортопедичних особливостей. Крім того, більш широке застосування цифрових технологій на етапах розробки елементів форми взуття за індивідуальним замовленням дозволить оптимізувати процес впровадження ортопедичних взуттєвих виробів у виробництво, використовуючи сучасні передові технології та автоматизоване обладнання.

Література

1. Gimunova M., Zvonař M., Kolářová K., Janík Z., Mikeska O., Musil R. et al. Changes in blood flow to the lower extremities during the later phases of pregnancy and exposure to special footwear. *Jornal Vascular Brasileiro*, 2017; 16(3):214–219. PMID:29930649
2. Омельченко Н. М., Коновал В. П., Качура К. М. Дослідження чинників, які впливають на індивідуальну анатомічну змінність людини : Легка промисловість; Київ.– К., 2010.
3. Яременко Д.А. Методика дослідження, діагностика и ортопедичне забезпечення при статистичних деформаціях стоп / Д.А. Яременко. - Харків, 1984.
4. Щуцька Г. В. Розробка післяопераційного взуття для хворих після операцій на нижніх кінцівках / Г. В. Щуцька, Н. П. Супрун, Т. В. Пономаренко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 2 (84). – С. 119-124.
5. Каменець С. Є. Проектування спеціального взуття для людей з осколковими ураженнями ніг за допомогою сучасних 3d технологій [Електронний ресурс] / С. Є. Каменець, Н. С. Кір'янова // Технології та дизайн. – 2017. – № 1 (22).
6. 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.

7. 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.
8. Yu-Chi Lee, Gloria Lin, Mao-Jun J Wang Comparison of 3D Foot Scanning with Conventional Measurement Methods//Journal of Foot and Ankle Research volume 7, Article number: 44. 2014
9. Лецишин М. М. Дослідження та підвищення комфортності взуття за індивідуальним замовленням [Текст] / М. М. Лецишин // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2020. – № 5 (150). – С. 56-66.
10. Половніков І. І., Андрущак В. І., Беднарчук М. С. Дослідницькі технології у виробництві спеціального взуття : монографія /; Укр. технол. акад., Львів. комерц. акад., Укр. НДІ шкір.-взутт. пром-сті. – Львів, 2014. – 364 с. – Бібліогр.: С. 352-364
11. Омельченко Н. М., Коновал В. П., Коляда О. М. Основи проектування ортопедичного взуття : Посіб. /; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2005. – 200 с. – Бібліогр.: С. 200.
12. Гондарчук П. М. Розробка внутрішньої форми та корегуючих пристосувань профілактично-медичного взуття при патології стоп : Автореф. дис. канд. техн. наук ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. – К., 2007. – 21 С.

References

1. Gimunova M., Zvonař M., Kolářová K., Janík Z., Mikeska O., Musil R. et al. Changes in blood flow to the lower extremities during the later phases of pregnancy and exposure to special footwear. *Jornal Vascular Brasileiro*, 2017; 16(3):214–219.
2. Omelchenko N. M., Konoval V. P., Kachura K. M. Research of factors affecting individual anatomical variability of a person: Light Industry; Kyiv.– K., 2010.
3. Yaremenko D.A. Research methodology, diagnostics and orthopedic support for statistical foot deformities / D.A. Yaremenko. - Kharkiv, 1984.
4. Shchutska G. V. Development of postoperative shoes for patients after operations on the lower extremities / G. V. Shchutska, N. P. Suprun, T. V. Ponomarenko // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. – 2015. – No. 2 (84). – P. 119-124.
5. Kamenets S. Ye. Design of special shoes for people with shrapnel injuries of the legs using modern 3d technologies [Electronic resource] / S. Ye. Kamenets, N. S. Kiryanova // *Technologies and design*. – 2017. – No. 1 (22).
6. Witana C.P., Xiong S., Zhao J. and Goonetilleke R.S. Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods // *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 2006 – P. 789–807.
7. Orlovsky B.V. CALS-technologies of object-oriented design and manufacturing of shoes based on the DelCAM CRISPIN software complex / B. V. Orlovsky // *Bulletin of KNUITD*. – 2012. – No. 1. – P. 22–33.
8. Yu-Chi Lee, Gloria Lin, Mao-Jun J Wang Comparison of 3D Foot Scanning with Conventional Measurement Methods//*Journal of Foot and Ankle Research* volume 7, Article number: 44. 2014
9. Leshchyshyn M. M. Research and improvement of comfort of shoes for individual order [Text] / M. M. Leshchyshyn // *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series Technical Sciences*. – 2020. – No. 5 (150). – P. 56-66.
10. Polovnikov I. I., Andrushchak V. I., Bednarchuk M. S. Research technologies in the production of special shoes: monograph /; Ukr. technol. acad., Lviv. commercial acad., Ukr. NII shkir.-vzutt. prom-sti. – Lviv, 2014. – 364 p. – Bibliography: p. 352-364
11. Omelchenko N. M., Konoval V. P., Kolyada O. M. Fundamentals of designing orthopedic shoes: Manual. /Kyiv. National University of Technologies and Design. - Kyiv, 2005. - 200 p. - Bibliography: p. 200.
12. Gondarchuk P. M. Development of the internal form and corrective devices for preventive and medical shoes for foot pathology: Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences; Kyiv. National University of Technologies and Design. - Kyiv, 2007. - 21 p.