

О.В. СКІДАН

Київський національний університет технологій та дизайну

Т.А. НАДОПТА, І.М. ПАСТУХ

Хмельницький національний університет

## ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОП ДІТЕЙ-ШКОЛЯРІВ

У статті обґрунтовано вибір вікової групи дітей - середній шкільний період із поділом на групи хлопчиків і дівчаток, що дозволить якомога краще враховувати особливості стоп. Наведено результати антропометричних досліджень стоп дітей-школярів, встановлено залежності основних параметрів стопи (довжини, ширини та обхвату) з використанням методики формування поліпараметричних моделей. Описано моделювання абрисів поверхні з використанням аналітичної геометрії, зокрема запропоновано метод профілювання абрисів з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними. Наведено алгоритм для автоматичного розрахунку координат кривої абрису стопи та показано як приклад побудови абрису сліду для різних довжин стопи, оскільки абрис сліду є складним замкнутим контуром. Перевагами розробленого методу є мобільність керування формою кривих абрисів деталей із зниженням порядку кривої, в тому числі – з кривизною різного напрямку, що необхідно для кривих характерних абрисів колодки та умовної розгортки.

**Ключові слова:** стопа, абрис стопи, аналітична модель, сплайнові криві, криволінійні напрямні

O.V. SKIDAN

Kyiv National University of Technologies and Design

T.A. NADOPTA, I.M. PASTUH

Khmelnitsky Natsionalny Universitet

### FORMATION OF THE MODEL OF THE SCHOOLCHILDREN FOOT DIMENSIONAL CHARACTERISTICS

**Abstract** – The article deals with the choice of the age groups of children – middle school period with the division into groups of boys and girls that will help to take into account the features of the foot. The results of anthropometric studies of the schoolchildren foot are offered, the dependencies of the foot basic parameters (length, width and girth) were determined using the method of the forming of polyparametric models. The modeling of the surface outlines was described using analytic geometry, including the method of outlines profiling using spline curves with curved guides. The algorithm of the automatic calculation of the coordinates of the curve and the outline of the foot is offered. An example of building of footprint outline for different lengths of the foot is given. The advantage of the developed method is mobility of the management of curves shape of details outlines including a reduction in the order of the curve and the curvature of different direction, which are necessary for the curves of characteristic pad outlines and conventional sweep.

**Keywords:** foot, contours of the foot, analytical model, spline curves, curved guides

### Постановка проблеми

Аналітичне моделювання процесу проектування дає змогу оптимізувати виконання певних етапів виробництва виробів. Використання аналітичної геометрії в процесі аналітичного моделювання дозволяє автоматизувати різні стадії високоточного виробництва технічних об'єктів [1]. Тому найбільшу перспективу мають інформаційні комплекси, в основі яких лежить автоматизація проектних рішень, за рахунок використання основ вказаного методу проектування. Вирішення теоретичних та прикладних задач аналітичної геометрії спрямовано на отримання оптимальних моделей процесу проектування, забезпечуючи при цьому функціональні, конструктивні, технологічні, економічні, естетичні критерії якості виробу. Системи автоматизованого проектування виробів легкої промисловості розвиваються паралельно, незважаючи на масове використання геометричного проектування. При цьому також в повній мірі не враховуються антропометричні особливості стоп, припуски, художнє рішення моделі, тощо.

При вивченні стану систем автоматизованого проектування взуття, зокрема для дітей-школярів встановлено, що одними з актуальних напрямків є розробка та пошук нових методів аналітичного моделювання процесу проектування, що дозволить, зокрема виконувати конструювання специфічних кривих і ділянок поверхні з одночасним адекватним відображенням їх на площині.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У загальному вигляді рішення завдань аналітичної геометрії складається з таких етапів [2]: аналітичний опис геометричних властивостей об'єкта (форми, розташування в просторі); розробка аналітичної моделі об'єкта та процесу проектування; корегування та редагування отриманого об'єкта шляхом виконання його геометричних перетворень; рішення геометричних завдань на тривимірному об'єкті; перетворення форми та положення об'єкта; одержання плоских відображень об'ємних деталей, відображення геометричних результатів проектування.

Сьогоднішній стан проектування за кордоном характеризується стрімким розвитком комплексів автоматизованого проектування виробів легкої промисловості, які реалізують системний підхід створення виробу на основі аналітичного моделювання об'єкта [3, 4]. Однак використання сучасних інформаційних технологій і спеціалізованих прикладних пакетів є економічно недосяжним для вітчизняних взуттєвих підприємств.

Аналіз сучасних вітчизняних методів з застосуванням аналітичних підходів показав, що

дослідження в цьому напрямку спрямовані в основному на удосконалення існуючих методів проектування [5-6]. Комплексний підхід до розробки та використання аналітичних методів процесі проектування виробів складається із значної кількості задач, однією з яких є теоретично обґрунтоване проектування та конструювання взуття для дітей-школярів.

Як відомо, процеси моделювання та проектування виробів в значній мірі пов'язані із створенням та використанням геометричних моделей або абрисів поверхонь. Найбільшу складність для проектування представляють об'єкти зі складною криволінійною формою поверхні (стопа, взуттєва колодка), які мають також враховувати будову стопи, забезпечувати відповідну якість виробів.

Тому пошук та розробка принципово нових підходів – аналітичної основи проектування взуття для дітей-школярів є актуально. Це дозволить швидше, точніше, економніше виконувати проектування виробів з врахуванням індивідуальних особливостей стоп, що підвищить конкурентоспроможність взуття.

#### **Формулювання мети дослідження**

Для розробки аналітичних моделей автоматизованого проектування взуття необхідно встановити залежності основних параметрів стопи (довжини, ширини та обхват) в залежності від віку дітей-школярів, що дозволить поступово переходити від рішення окремих задач за допомогою програмних продуктів для комплексної автоматизації процесу проектування взуттєвих виробів.

Подібний підхід дає можливість розробити програмні модулі, котрі дозволять автоматизовано проектувати взуття для дітей-школярів, включаючи усі стадії процесу проектування деталей верху взуття.

#### **Викладення основного матеріалу**

Для розширення асортименту взуття, підвищення його конкурентоспроможності, поліпшення якості необхідна розробка інноваційних систем проектування з врахуванням анатомічних особливостей стоп та сучасних, модних конструктивних рішень.

Початковим етапом розробки аналітичних основ автоматизованого проектування взуття є встановлення вікових груп, котрі необхідні для забезпечення точності та адекватності аналітичних моделей.

У медичних джерелах широко відома наступна класифікація, яка ґрунтується на вікових та анатомо-фізіологічних особливостях дітей: період новонародженого (2-3 тижні); період грудного віку (до 1 року); перед-дошкільного (з 1 року до 3 років); дошкільний вік (з 3 до 7 років); молодший шкільний вік (з 7 до 12 років); середній, або підлітковий, вік (з 12 до 15 років); старший шкільний, або юнацький, вік (з 14 до 18 років у дівчаток, з 15-16 років до 19-20 років у хлопчиків).

У педагогічній психології найчастіше використовують періодизацію, засновану на педагогічних умовах. Тобто, періоди дошкільного віку підрозділяються відповідно групам дитячого садка, а в шкільному віці виділяють три етапи: молодший (I-IV класи), середній (IV-IX класи), старший (X -XI класи).

У сучасній науці немає єдиної загальноприйнятої класифікації періодів росту і розвитку та їх вікових меж, але найчастіше використовується наступний поділ: немовля (1-10 днів); грудної вік (10 днів - 1 рік); раннє дитинство (1-3 роки); перше дитинство (4-7 років); друге дитинство (8-12 років для хлопчиків, 8-11 років для дівчаток); підлітковий вік (13-16 років для хлопчиків, 12-15 років для дівчаток); юнацький вік (17-21 рік для юнаків, 16-20 років для дівчат); зрілий вік.

Згідно ГОСТ 3927-88 Колодки обувные. Общие технические условия – колодки і відповідне їм взуття за статево-віковою ознакою поділяється на 10 груп. Кожна група має у своєму складі певну кількість розмірів і повнот. Зокрема, дитяче взуття поділяється на 8 груп, у дужках наведені межі довжин стоп: пінетки (95-125 мм); для ясельного віку (105-140 мм); малодитяча (145-165 мм); дошкільна (170-200 мм); для школярів-дівчаток (205-240 мм); дівоча (225-260 мм); для школярів-хлопчиків (205-240 мм); хлопчача (240-280 мм). Для кожного вікового періоду характерні специфічні особливості. Як відомо, діти шкільної групи майже постійно перебувають взутими, тому необхідно, щоб вироби були зручними та якісними. З огляду на це, потрібно значну увагу приділяти саме цим статево-віковим групам при розробці сучасних та інноваційних методів проектування взуття.

У [7] запропонована методика дослідження динаміки росту стоп та наведено залежності, котрі дають змогу аналітично визначати співвідношення довжини стопи та віку. На основі цього встановлено, що у віці 11-13 відбувається певне уповільнення росту стоп. У [8] також були проведені дослідження стоп дітей віком 2-12 років та отримані дані, котрі свідчать про уповільнення росту стоп саме у віці 11-13 років.

З огляду на проведені нами дослідження та отримані результати динаміки росту стоп, обраний вік для подальших розробок аналітичних моделей автоматизованого проектування взуття – 11 -13 років, який згідно класифікації педагогічної психології – середній шкільний період. Якщо ж розглядати з позиції фізіології, то тривалість окремих вікових періодів в значній мірі мінлива і хронологічні рамки віку і його характеристики будуть неоднозначними. Тому прийнято вікове групування – середній шкільний період із поділом на групи хлопчиків і дівчаток, що дозволить враховувати їх особливості. Оскільки саме на цьому етапі відбувається формування організму [9] в цілому та стопи зокрема, тому необхідно якомога краще врахування анатомічних та морфологічних особливостей стоп. Традиційні ж методи та способи проектування не забезпечують відповідної точності та якості взуття [10].

На основі результатів проведення анатомічних та морфологічних досліджень стоп дітей-школярів встановлюються закономірності відношення основних анатомічних точок стопи відносно довжини стопи (внутрішній та зовнішній пучок, згин стопи, кінець мізинця, зовнішня та внутрішня щиколотки), а також отримання залежностей обхватів в перетині пучкової частини, прямого підйому та по лінії косоного підйому.

Результати експериментальних досліджень анатомічних та морфологічних особливостей стоп дітей-школярів були оброблені з використанням стандартного статистично-математичного методу з використанням ПК (програма Excel, «STAT»).

Для встановлення коефіцієнтів значень співвідношень розмірних характеристик стоп до її довжини або аналітичних залежностей, які дозволяють визначити ці співвідношення в залежності від довжини стопи, необхідно визначити діапазон розподілу.

Згідно результатів обробки встановлено, що середньо-типова стопа для школярів-дівчаток – 233,4 мм, а для школярів-хлопчиків – 242,1. Однак, межі розподілу стоп для дівчат від 205 до 245 мм, а для хлопчиків відповідно від 205 до 255 мм. З огляду на це запропоновано дещо розширити діапазон довжин стоп, який наведений у вище зазначеному нормативному документі: для школярів -дівчаток – 205-245 мм, а школярів-хлопців – 205-255 мм.

Обробка отриманих даних паралельно здійснювалася з використанням розробленої методики обробки поліпараметричних моделей, котрі мають декілька факторів впливу. У нашому випадку цими факторами є:

- стать (дівчатка та хлопчики);
- довжина стопи;
- три обхватні розміри;
- основні анатомічні точки на стопі.

На рисунку 1 наведена послідовність обробки отриманих результатів досліджень.

На основі результатів обробки даних встановлено значення співвідношень розмірних характеристик стоп до її довжини, які наведені в таблиці 1. Для порівняння також визначені аналогічні показники досліджень стоп 80-х років минулого століття [11].

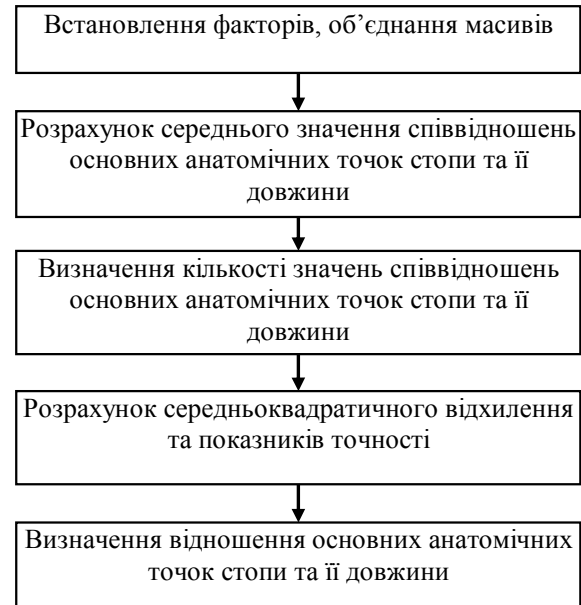


Рис. 1. Послідовність обробки результатів досліджень

Таблиця 1

**Значення співвідношень розмірних характеристик характерних анатомічних точок стопи до її довжини**

Основні анатомічні точки стопи	Хлопчача група		Дівчача група	
	Отримані результати	Дослідження 1980 рр.	Отримані результати	Дослідження 1980 рр.
Поздовжні розмірні характеристики стопи (вісь x)				
точка центру найширшого місця п'ятки	0,184	0,158	0,187	0,157
точка відростка п'ятої плеснової кістки	0,364	-	0,373	-
точка центру зовнішнього пучка	0,647	0,621	0,636	0,621
точка кінця мізинця	0,8	-	0,799	-
точка центру внутрішнього пучка	0,743	0,73	0,743	0,725
точка середини стопи	0,5	-	0,5	-
Поперечні розмірні характеристики стопи (вісь y)				
ширина п'ятки	0,269	0,262	0,272	0,258
переріз точки зовнішнього пучка – назовні	0,249	-	0,245	-
переріз точки внутрішнього пучка – всередину	0,13	-	0,14	-
переріз точки кінця мізинця – назовні	0,198	-	0,197	-

Отримані результати дозволяють виявити наявність у стопах сучасних дітей-школярів доволі суттєві відмінності, що вказує на неможливість використання колодок та взуття, спроектованих та виготовлених за застарілими даними.

У практиці проектно-конструкторських робіт для моделювання абрисів складних поверхонь існують різноманітні математичні підходи та методи з використанням аналітичної геометрії [12, 13].

Як уже було зазначено, основою проектування виробів є розробка та використання геометричних моделей або абрисів поверхонь.

У загальному моделювання абрисів поверхні з використанням аналітичної геометрії можна умовно розділити на дві групи:

а) поверхні, котрі описують більшу частину об'єкта або весь об'єкт;

б) абрис поверхні, які мають часту зміну форми на обмеженій ділянці виробу або об'єкта (стопа, взуттєва колодка, умовна розгортка колодки).

Якщо досліджується поверхня, яка описує складні у математичному змісті моделі, то це ускладнює завдання, вимагає більших витрат часу та ресурсів. Зовсім інша ситуація виникає, якщо моделюють абрис поверхонь. Локальний контур такої поверхні - абрис найчастіше вдається замінити менш громіздкими аналітичними моделями без втрати точності одержуваних результатів. Досягнути означеного результату можна, якщо застосовувати процедури пошуку аналітичних моделей – сплайнові криві, які дозволяють здійснювати відтворення абрисів будь-якої складності. У [14] розроблено методику застосування сплайнових кривих. Однак, недоліком є однозначність форми кривої та необхідність значної кількості керуючих точок для складних кривих абрисів, оскільки для системи керуючих точок застосовуються прямолінійні напрямні.

На основі цього досить актуальним є завдання розробки методу профілювання абрисів деталей, застосовуючи сплайнові криві, котрі забезпечать зниження порядку кривої високої складності, в тому числі – з кривизною різного знаку, що є досить вагомо при проектуванні взуття для дітей-школярів.

Запропоновано метод профілювання абрисів з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними. Суть цього методу полягає в тому що, побудова кривої абрису відбувається за допомогою дуг кола, при цьому можливі варіанти – з протилежним знаком кривизни, що дає змогу отримувати криві абрисів будь-якої форми при нижчому порядку сплайнової кривої. Цей метод відповідає наступним умовам: має відносно нескладний математичний апарат; реалізовується без залучення складного та дорогавартісного програмного забезпечення; є доступним для застосування у практиці проектування та виготовлення взуття.

Запропонований метод дозволяє отримувати аналітичні моделі абрисів стоп, умовної розгортки стопи, взуття, забезпечуючи при цьому високу точність.

За допомогою розробленого методу отримано абрис стоп дітей-школярів та визначені координати керуючих точок. В якості прикладу на рисунку 2 показано побудову абрису стопи хлопчачої групи, як найбільш складної фігури.

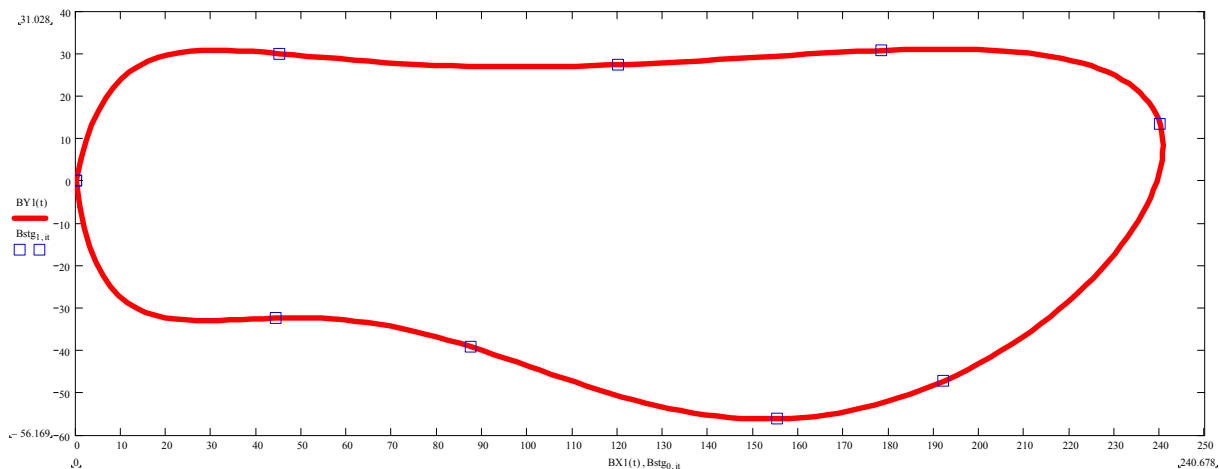


Рис. 2. Відображення абрису сліду стопи із застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними

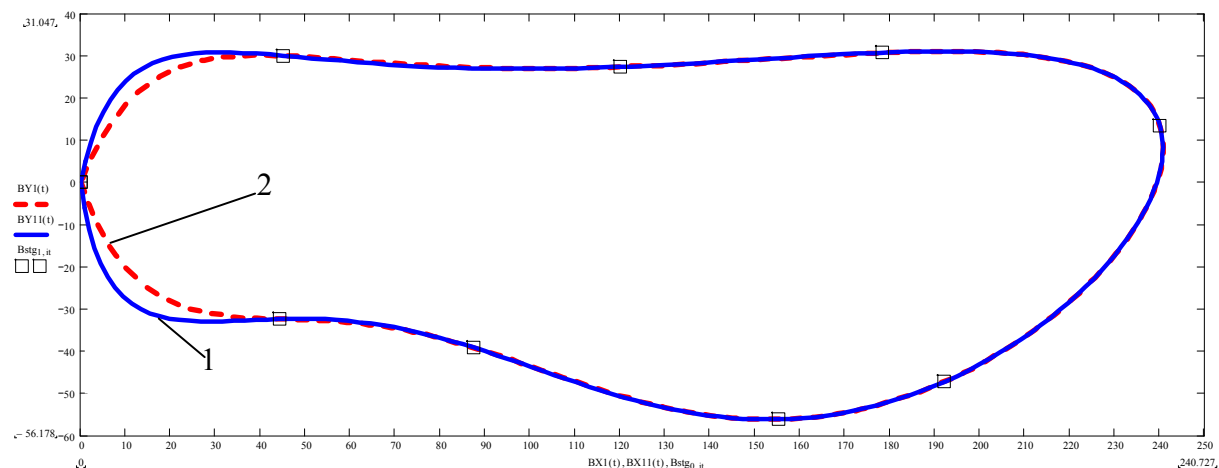


Рис. 3. Порівняння ідентифікації абрису сліду стопи наступними методами: 1 – з криволінійними напрямними, 2 – з прямолінійними напрямними

На рисунку 3 наведено порівняння одержання абрису стопи хлопчачої групи з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними та з використанням сплайнових кривих з прямолінійними напрямними. Як слідє, найбільш точно крива проходить через всі характерні анатомічні точки, особливо у п'ятковій частині, з застосуванням сплайнових кривих з криволінійними напрямними.

На основі розробленого методу сформовано алгоритм автоматичного розрахунку координат кривої абрису стоп різних довжин дітей-школярів (рис. 4).



Рис. 4. Формування алгоритму автоматичного розрахунку координат кривої абрису стопи

На рисунку 5 показаний приклад побудови абрису сліду для різних довжин стопи (від 205 до 255 мм) хлопчачої групи з використанням вище зазначеного алгоритму.

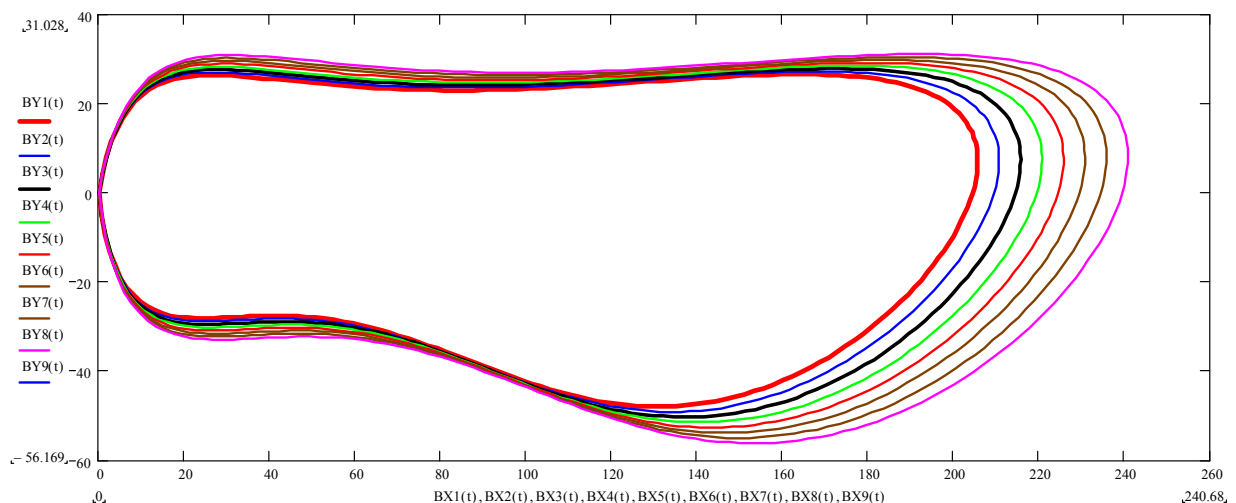


Рис. 5. Співставлення кривих абрисів для довжини стопи від 205 до 255 мм

### Висновки

1. Встановлено аналітичні залежності росту стоп в залежності від віку дітей-школярів, що дасть змогу для подальших розробок аналітичних моделей автоматизованого проектування виробів.
2. Розроблено метод профілювання абрисів деталей сплайновими кривими з криволінійними напрямними, який є практично значимим у сучасних проектно-конструкторських роботах.

## Література

1. Замарашкин Н.В. Обувь: проектирование, производство, эксплуатация / Н.В.Замарашкин, К. Н.Замарашкин / Спб. : СПГУТД, 2002. – 543 с.
2. Борисенко О. А. Аналітична геометрія: навч. посібник / О. А. Борисенко, Л. М. Ушакова . – Харків : Основа, 1993 . – 192 с. : іл.
3. Delcam Exchange – программное обеспечение для преобразование данных между разными форматами: [Электронный ресурс] – Режим доступа до сайту : <http://www.delcam.ru/products/exchange/exchange.htm>
4. Система проектирования технологических процессов (САПР-Т): [Электронный ресурс]. – Режим доступа до сайту : <http://eleanor-soft.ru/lectra.htm>
5. Рябець О. І. Геометрія деталей взуття / О. І. Рябець, С. М. Альошкова, Т. І. Бухтіярова // Вісник КНУТД. – 2007. – № 1. – С. 78-82.
6. Цимбалюк В. М. Автоматизація проектування типових конструкцій взуття копіювально-графічним методом / В. М. Цимбалюк, А. В. Гурницький // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2007. – №6, т.2. – С. 121-125.
7. Надопта Т.А. Методика дослідження динаміки росту довжини стоп дітей-школярів / Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 5. – С 73-77.
8. Бекк М.В. Разработка методики прогнозирования ассортимента детской обуви: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.06 / Бекк Мария Владимировна. – М., 2013. – 176 с.
9. Анатомія кінцівок : навч. посібник / В. Г. Ковешніков, В. З. Сікора, В. С. Пикалюк [та ін.] ; Сумський державний університет, Медичний інститут. – Суми : СумДУ, 2014. – 244 с. : іл.
10. Надопта Т.А. Загальні критерії якості взуттєвих виробів для дітей-школярів / Т.А. Надопта, А.Б. Домбровський, О.В. Скідан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 4. – С 244-249.
11. Фарниева О. В. Усовершенствование размерной стандартизации и ассортимента обуви / О.В. Фарниева, К.Н. Нургельдиев. – Ашхабад : ЫЛЫМ, 1982. – 191 с.
12. Гувеннов М. Б. Использование метода скользящей аппроксимации при геометрическом моделировании поверхностей: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.01.01 «Геодезические науки» / М. Б. Гувеннов. – Нижний Новгород, 2013. – 21 с.
13. Павлова, С.В. Описание виртуальной модели изделия в индустрии моды с позиции геометрического моделирования формы / С.В. Павлова, Аюшеев Т.В. // Вестник ВСГТУ. – 2007. – № 3. – С.32-35
14. Надопта Т.А. Розробка методу проектування деталей верху взуття на основі аналітичної моделі прототипу: дис. ...канд. техн. наук: 05.18.18 / Надопта Тетяна Анатоліївна. – Хмельницький, 2013. – 214 с.

## References

1. Zamarashkin N.V. Obuv: proektyrovanye, proyzvodstvo, ekspluatatsiya / N.V.Zamarashkin, K. N.Zamarashkin / Spb. : SPHUTD, 2002. – 543 s.
2. Borysenko O. A. Analitychna heometrija: Navč. posibnyk / O. A. Borysenko, L. M. Ušakova . – Xarkiv : Osнова, 1993 . – 192 s. : il.
3. Delcam Exchange – prohrammnoe obespečenye dlja preobrazovanye dannyx meždju raznymi formatamy: [Elektronnyj resurs] – Režym dostupu do sajtu : <http://www.delcam.ru/products/exchange/exchange.htm>
4. Systema proektyrovanyja tehnolohyčeskyx processov (SAPR-T): [Elektronnyj resurs] – Režym dostupu do sajtu : <http://eleanor-soft.ru/lectra.htm>
5. Rjabec O. I. Heometrija detalej vzuttja / O. I. Rjabec, S. M. Aloškova, T. I. Buxtijarova // Visnyk KNUITD. – 2007. – № 1. – S. 78-82.
6. Cymbaljuk V. M. Avtomatyzacija proektuvannja typovyx konstrukcij vzuttja kopijuvalno-hrafičnym metodom / V. M. Cymbaljuk, A. V. Hurnyckij // Visnyk XNU. – 2007. – № 6, T.2. – S. 121-125.
7. Nadopta T. A. Metodyka doslidžennja dynamiky rostu dovžyny stop ditej-školariv / T. A. Nadopta, A. B. Dombrovskij, O. V. Skidan // Visnyk Xmelnyckoho nacionalnogo universytetu. – 2014. – № 5. – S 73-77.
8. Bekk M.V. Razrabotka metodyky prohnozyrovanya assortymenta detskoj obuvy: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.19.06 / Bekk Maryia Vladymyrovna. – M., 2013. – 176 s.
9. Anatomiiia kintsivok : navchalnyi posibnyk / V. H. Koveschnikov, V. Z. Sikora, V. S. Pykaliuk [ta in.] ; Sumskyi derzhavnyi universytet, Medychnyi instytut. – Sumy : SumDU, 2014. – 244 s. : il.
10. Nadopta T. A. Zahalni kryterii yakosti vzuttievykh vyrobiv dlia ditej-shkoliariv / T. A. Nadopta, A. B. Dombrovskij, O. V. Skidan // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2014. – № 4. – S 244-249.
11. Farnyeva O. V., Nurheldyev K. N., Usovershenstvovanye razmernoi standartyzatsyy y assortymenta obuvy: ЫЛЫМ: Ashkhabad – 1982. – 191 s.
12. Huvennov M. B. Yspolzovanye metoda skolziashchei approksymatsyy pry heometrycheskom modelirovanny poverkhnosti: avtoref. dys. na soyskanye nauchn. stepeny kand. tekhn. nauk : spets. 05.01.01 «Heodezycheskye nauky» / M. B. Huvennov. – Nyzhnyi Novhorod, 2013. – 21 s.
13. Pavlova, S.V. Opyasnye vyrvtualnoi modely yzdeliya v yndustryi mody s pozytsyy heometrycheskoho modelirovanyia formy. [Tekst] / S.V. Pavlova, Aiusheev T.V. // Vestnyk VSHTU. – 2007. – № 3 – S.32-35
14. Nadopta T. A. Rozrobka metody proektuvannia detalei verkhу vzuttia na osnovi analitychnoi modeli prototyphu: dys. ...kand. tekhn. nauk: 05.18.18 / Nadopta Tetiana Anatoliivna – Khmelnytskyi, 2013. – 214 s.

Рецензія/Peer review : 19.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 14.5.2015 р.

Стаття прорецензована редакційною колегією