

ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІЖ АНТРОПОМЕТРИЧНИМИ ОЗНАКАМИ СТОП ДІТЕЙ-ШКОЛЯРІВ

У статті наведені результати антропометричних досліджень стоп дітей-школярів та визначені кореляційні залежності в розмірних параметрах стоп з урахуванням змін в їх розмірах та формі. Для цього були перевірені чотири закони, яким підлягали різні розмірні ознаки стоп: довжинні, широтні, висотні та обхватні параметри. Отримана інформація в подальшому буде врахована при проектуванні внутрішньої форми і розробці раціонального взуття.

Ключові слова: стопа, внутрішня форма, взуття.

O.V. SKIDAN, V.V. SKIDAN.
Kyiv National University of Technologies and Design

DETERMINATION AND ANALYZ CORRELATINS DEPENDENCE BETWEEN ANTHROPOMETRIC SIGNS FEET OF SCHOOLCHILDREN

Abstract – The results of anthropometric research feet of schoolchildren and correlations to feet dimensional parameters that must be considered in the design and development of the internal form of rational footwear.

Keywords: foot, parameters, rational footwear.

Постановка проблеми

Одним з найважливіших показників якості взуття для дітей-школярів є його зручність, яка визначається в значній мірі відповідністю форми та розмірів стопи внутрішній формі взуття. Крім того, за останні десятиріччя, внаслідок впливу процесу акселерації спостерігається зміна параметрів довжини, ширини та обхватів стоп дітей-школярів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Передумовою виробництва раціонального взуття, як відомо, є наявність необхідної чисельної та різноманітної інформації, яка безпосередньо пов'язана з формою, розміром, станом і роботою стопи людини. Така інформація може бути отримана завдяки проведенню антропометричних досліджень стоп [1-4].

Формулювання мети дослідження

Метою наших досліджень було проведення антропометричних обмірів стоп хлопчиків та дівчаток 12-13 років, визначення кореляційних залежностей в розмірних параметрах стоп з подальшим використанням отриманих даних для проектування внутрішньої форми та взуття для даної групи споживачів.

Викладення основного матеріалу

Дітей віком 12-13 років можна вважати самою специфічною цільовою групою споживачів. Взуття для даної вікової групи представляє собою окремий, досить затребуваний сегмент ринку. Але в наш час неоліком асортиментної політики підприємств є мінімальний випуск взуття для даної групи споживачів.

Сучасне виробництво взуття для дітей-школярів пов'язане з використанням переважно імпорتنих колодок, які за формою та розмірами не відповідають стопам школярів України.

За результатами антропометричного дослідження були встановлені закономірності між різними параметрами стоп школярів для подальшого використання їх при проектуванні колодок та взуття.

Для наочного уявлення варіаційного ряду велике значення мають його графічні зображення. Так варіаційний ряд може бути зображений у вигляді полігона, гістограми та кумуляти.

Гістограма та полігон розподілення є графічним відображенням частот, які в свою чергу являють собою оцінки щільності ймовірності. Кумулятивна крива отримується при зображенні варіаційного ряду з накопиченими частотами в прямокутній системі координат.

Перевірку характеру розподілення визначено різними способами [5]:

По середньому абсолютному відхиленню d за формулою:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (1)$$

$$d = 1948,34/220=8,86.$$

Для вибірки, що має приблизно нормальний закон розподілу, має бути справедлива нерівність:

$$\left| \frac{d}{\sigma} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$\text{Таким чином, } \left| \frac{8,86}{10,50} - 0,7979 \right| < \frac{0,4}{\sqrt{220}} ; 0,0459 < 0,0268.$$

Отже, гіпотеза нормальності розподілу вибірки даних може бути прийнята.

Жоден емпіричний розподіл антропометричних ознак, як правило, не має точного співпадання з теоретичною кривою нормального розподілу. Але деяке уявлення про близькість емпіричного розподілу до нормального може надати аналіз асиметрії та ексцесу.

Незміщені оцінки для асиметрії (A) та ексцесу (E) визначаються за формулами:

$$G_A = \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} \cdot A \quad , \quad (3)$$

$$G_E = \frac{n-1}{(n-2) \cdot (n-3)} [(n+1) \cdot E + 6], \quad (4)$$

де n – обсяг експериментальної вибірки.

Для перевірки гіпотези про нормальність розподілу також розраховане середнє квадратичне відхилення показників асиметрії S_A та ексцесу S_E :

$$S_A = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}}, \quad (5)$$

$$S_E = \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}}, \quad (6)$$

де n – об'єм експериментальної вибірки.

Якщо $|G_A| \leq 3S_A$ та $G_E \leq 5S_E$, то гіпотеза нормальності емпіричного розподілу може бути прийнята.

Перевіримо, наприклад, гіпотезу нормальності емпіричного розподілу довжини стоп хлопчиків.

Незміщені оцінки для асиметрії (A) та ексцесу (E) у даному випадку будуть дорівнювати:

$$G_A = \frac{\sqrt{220(220-1)}}{220-2} \cdot 0,2 = 0,202;$$

$$G_E = \frac{220-1}{(220-2)(220-3)} [(220+1)(-0,14) + 6] = -0,100.$$

Середнє квадратичне відхилення показників асиметрії та ексцесу будуть дорівнювати: $S_A = \sqrt{\frac{6 \cdot 220(220-1)}{(220-2)(220+1)(220+3)}} = 0,209$, $S_E = \sqrt{\frac{24 \cdot 220(220-1)^2}{(220-3)(220-2)(220+3)(220+5)}} = 0,327$.

Тоді, $3S_A = 0,627$, а $5S_E = 2,065$

У даному випадку $0,202 < 0,627$ та $0,100 < 2,065$; отже, виконання наданих умов свідчать про те, що гіпотеза про нормальність розподілу такої розмірної ознаки, як довжина стоп хлопчиків, може бути прийнята.

Аналогічно були проаналізовані асиметрія та ексцес основних розмірних ознак стоп дівчаток.

Для більш ґрунтовної перевірки нормальності розподілу був використаний критерій Пірсона (χ^2):

$$\chi^2 = \sum_{\substack{\text{(у всіх} \\ \text{класів)}}} \frac{(f_i - \bar{f}_i)^2}{f_i}, \quad (7)$$

де f_i - емпіричні частоти у кожному i -му класі значень ознак;

\bar{f}_i - теоретичні частоти у кожному i -му класі значень ознак.

Для перевірки цього положення нами був проведений розрахунок й оцінка відповідності емпіричних та теоретичних частот за критерієм - χ^2 розподілення довжини стопи ($D_{ст}$) для хлопчиків (табл.1).

Класовий інтервал розраховується за формулою: $d_x = \frac{\max - \min}{k}$, де \max та \min – відповідно максимальне та мінімальне значення параметру розмірної ознаки вибірки; $k = 10$ або 15 . У даному випадку $d_x = \frac{264 - 209}{15} = 3,66 \approx 4$ (мм).

Для визначення кількості класів крайні частоти теоретичного ряду, які мають число менше 5 об'єднано в один клас із суміжним. Відповідно об'єднанню частот теоретичного ряду об'єднують частоти у емпіричному

ряді. Тоді значення числа класів R для визначення кількості ступенів свободи визначають після об'єднання у класи.

Таблиця 1

Визначення критерію χ^2 для вибірки по $D_{ст}$ хлопчиків

Номер класу	Межа класових інтервалів, мм	Середина інтервалів x, мм	f_i	Функція $f(t)$	\bar{f}_i	$\frac{(f_i - \bar{f}_i)^2}{f_i}$
1	218-222	22	8	0,0804	5	0,560554
2	223-227	22	10	0,1518	12	0,700692
3	228-232	23	14	0,2468	17	0,645165
4	233-237	23	22	0,3391	22	2,414332
5	238-242	24	28	0,3932	26	4,77604
6	243-247	24	22	0,3885	23	0,999762
7	248-252	25	16	0,3251	17	0,136528
8	253-257	25	10	0,2323	10	0,005058
9	258-262	26	6	0,1394	4	0,003068
Σ			136		136	2,6

Для даного емпіричного розподілу (табл.1) кількість ступенів свободи дорівнює $dx=R-3=9-3=6$. Для даного ступеню свободи за таблицею межові значення χ^2 складають: $P_{0,05}=12,6$; $P_{0,01}=16,8$; $P_{0,001}=22,5$. Значення критерію Пірсона, яке ми отримали $\chi^2=5,12$ не перевищує першого рівня значущості, отже, розподіл довжини стоп в даній вибірці можна вважати нормальним.

Отже, за результатами позитивних оцінок двох показників (асиметрії і ексцесу, а також критерію Пірсона) можна стверджувати, що емпіричне розподілення такої розмірної ознаки, як довжина стоп хлопчиків, наближається до нормального розподілу. Аналогічно були визначені критерій Пірсона для емпіричного розподілення основних розмірних ознак стоп дівчат. На рис.1, як приклад, наведено емпіричне та теоретичне розподілення довжини стоп у хлопчиків.

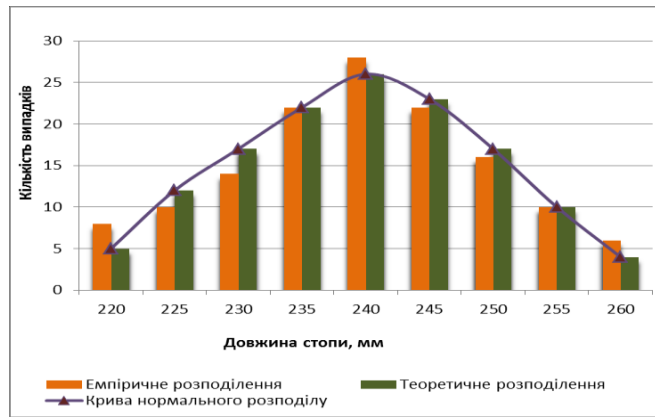


Рис.1 – Емпіричне та теоретичне розподілення довжини стоп у хлопчиків

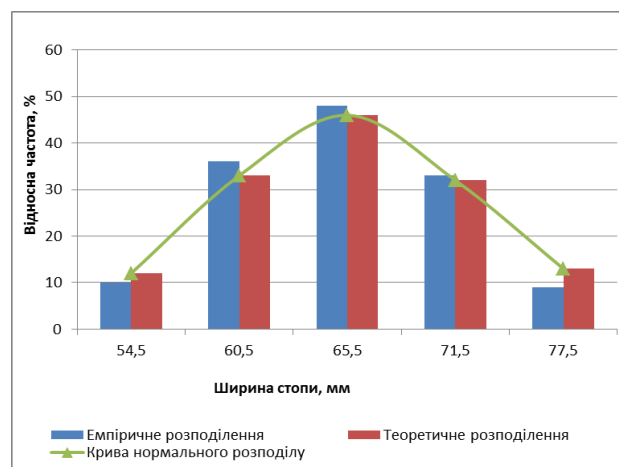


Рис.2 – Емпіричне та теоретичне розподілення ширини стоп у хлопчиків

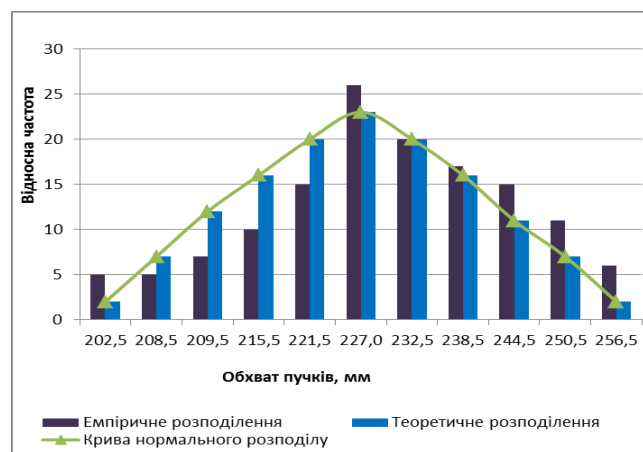


Рис.3– Емпіричне та теоретичне розподілення обхвата пучків у хлопчиків

Перевірка гіпотези про нормальне розподілення розмірних ознак стоп хлопчиків та дівчаток (віком від 12 до 13 років) дала змогу зробити висновок, що розподілення частот довжинних, широтних, висотних та обхватних параметрів їхніх стоп з максимальною ймовірністю виражається законом нормального розподілення.

У таблицях 2 та 3 наведені статистичні характеристики основних розмірних ознак, коефіцієнти їх кореляційної та регресійної залежності для хлопчиків та дівчаток.

Таблиця 2

Статистичні характеристики основних параметрів стопи та коефіцієнти залежності $r_{y/x}$, $R_{y/x}$ для хлопчиків та дівчаток

Група	Основні параметри стоп	Статистичні характеристики, мм		Коефіцієнт прямої залежності				Коефіцієнт оберненої регресії	
		$Mx \pm m_x$	σ	З довжиною стопи ($D_{ст}$)		З обхватом у пучках ($O_{п}$)		з $D_{ст}$	з $O_{п}$
				$r_{y/x}$	$R_{y/D}$	$r_{y/x}$	$R_{y/O}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хлопці 12-13 років	$D_{ст}$	242,1±1,5	12,3	-	-	0,52	0,37	-	0,63
	$Ш_{п}$	81,3±1,0	8,5	0,52	0,29	0,58	0,28	0,61	2,74
	$Ш_{п'ят}$	56,9±0,75	6,1	0,57	0,23	0,66	0,36	0,55	1,30
	$O_{п}$	200,9±10,1		0,63	0,27	-	-	0,37	-
	$V_{гп/к}$	32,9±0,3	2,4	0,55	0,11	0,53	0,34	2,83	11,52
	$V_{т.зг.}$	70,79±0,7	5,4	0,61	0,18	0,59	0,41	0,94	1,68
Дівчата 12-13 років	$D_{ст}$	233,4±2,3	15,6	-	-	0,69	0,65	-	0,73
	$Ш_{п}$	78,45±0,9	78,5	0,61	0,23	0,72	0,26	1,61	2,00
	$Ш_{п'ят}$	55,3±0,5	55,3	0,52	0,12	0,63	0,14	2,18	2,79
	$O_{п}$	227,7±2,4		0,69	0,76	-	-	0,65	-
	$V_{гп/к}$	31,1±0,3	2,36	0,74	0,11	0,62	0,09	4,86	4,31
	$V_{т.зг.}$	67,6±1,1	7,65	0,58	0,28	0,53	0,25	1,17	1,14

Таблиця 3

Рівняння ортогональної регресії основних параметрів стоп хлопчиків та дівчаток 12-13 років

Параметри стопи	Хлопчики	Дівчата
	Рівняння ортогональної регресії	Рівняння ортогональної регресії
1	2	3
$Ш_{п}$	$Ш_{п}=0,35D_{ст}+8,1$	$Ш_{п}=0,33D_{ст}+8,5$
$Ш_{п'ят}$	$Ш_{п'ят}=0,28D_{ст}-2,6$	$Ш_{п'ят}=0,28-1,8$
$O_{п}$	$O_{п}=0,92D_{ст}+4,2$	$O_{п}=0,9D_{ст}+10,3$
$O_{пр.під.}$	$O_{пр.під.}=0,96D_{ст}+4,2$	$O_{пр.під.}=0,93D_{ст}+10,1$

$V_{rп/к}$	$V_{rп/к} = 0,18 \text{ Дст} - 10,7$	$V_{rп/к} = 0,16 \text{ Дст} - 6,1$
$V_{т.зг.}$	$V_{т.зг.} = 0,35 \text{ Дст} - 13,9$	$V_{т.зг.} = 0,32 \text{ Дст} - 7,0$

На рис. 4 зображений графік прямої, оберненої та ортогональної регресії довжини стопи з обхватом у пучках хлопчиків.

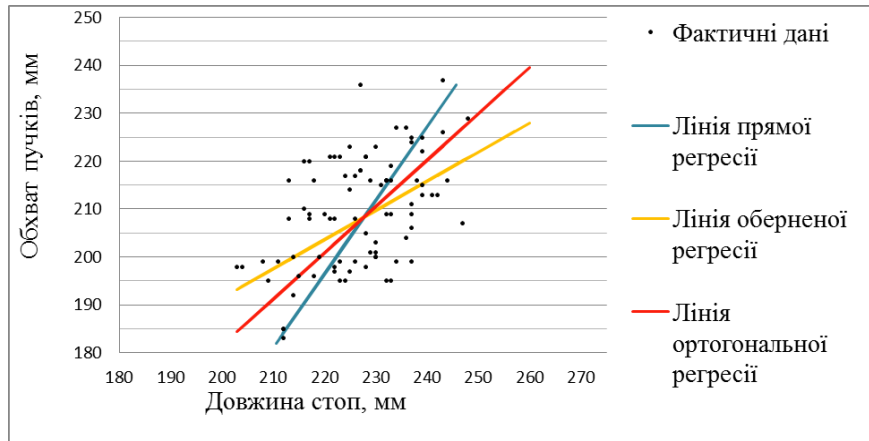


Рис. 4 – Графік залежності довжини стопи (мм) з обхватом у пучках (мм) хлопчиків

Таким чином, як видно обхватні та широтні розміри стопи хлопчиків та дівчат пов'язані з їх довжиною ортогональною регресійною залежністю, яка має вигляд:

$$O_{п} = \text{tg } \alpha_1 \cdot \text{Дст} + b_1, \quad (3.19)$$

$$Ш_{п} = \text{tg } \alpha_2 \cdot \text{Дст} + b_2 \quad (3.20)$$

Тобто були підтвердженні положення Коновала В.П., про ортогональну регресійну залежність між поперечними розмірами хлопчиків та дівчаток та їхньою довжиною стопи.

За даними антропометричних досліджень стоп хлопчиків та дівчаток, проведено кореляційний та регресійний аналіз залежностей між однойменними розмірами стоп. Величини значення емпіричних коефіцієнтів кореляції $r_{y,x}$ та регресії $R_{y,x}$ наведені у табл.4.

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляційної $r_{y,x}$ та регресійної $R_{y,x}$ залежності між однойменними розмірами стоп хлопчиків та дівчаток 12-13 років

Розмірні ознаки стоп	Коефіцієнти кореляції $r_{y,x}$ та регресії $R_{y,x}$							
	З довжиною стопи (Дст)				З обхватом у пучках (Оп)			
	Хлопчики		Дівчатка		Хлопчики		Дівчатка	
	$r_{y,x}$	$R_{y,x}$	$r_{y,x}$	$R_{y,x}$	$r_{y,x}$	$R_{y,x}$	$r_{y,x}$	$R_{y,x}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

$D_{0,9}$	0,86	0,90	0,91	0,98	-	-	-	-
$D_{0,73}$	0,90	0,76	0,94	0,76	-	-	-	-
$D_{0,62}$	0,80	0,65	0,87	0,63	-	-	-	-
$D_{0,18}$	0,52	0,32	0,63	0,25	-	-	-	-
$Ш_{\text{вн.п}}$	0,42	0,29	0,61	0,23	0,45	0,22	0,66	0,45
$Ш_{\text{п}}$	0,37	0,27	0,52	0,32	0,56	0,34	0,60	0,40
$O_{\text{вн.п}}$	0,69	0,43	0,62	0,48	0,87	0,60	0,90	0,70
$O_{\text{зовн.п}}$	0,85	0,60	0,72	0,52	0,94	0,74	0,91	0,69
$O_{\text{п'ятк.згин}}$	0,91	0,72	0,63	0,40	0,89	0,65	0,93	0,73

Відомо, що значення коефіцієнтів кореляції визначає, як тісно пов'язані емпіричні параметри лінійної залежності [6]. При позитивній залежності між ними коефіцієнт кореляції $r_{y,x}$ приймає значення від 0 до 1. Чим ближче $r_{y,x}$ до одиниці, тим ближче емпірична залежність до функціональної [7-8].

Згідно значень коефіцієнтів кореляції, наведених у таблиці 4, можна зробити висновок, що між довжиною стопи ($D_{\text{ст}}$) та іншими розмірами по довжині – $D_{0,9}$ (довжина до середини 1-го пальця), $D_{0,73}$ (довжина до внутрішнього пучка), $D_{0,62}$ (довжина до зовнішнього пучка) існує статистичний зв'язок з високим коефіцієнтом кореляції $r_{y,x}$, який у дівчаток – від 0,63 до 0,94. Але для різнойменних розмірів – $D_{\text{ст}}$ з обхватними та широтними розмірами, значення коефіцієнта кореляції $r_{y,x}$ – від 0,52 до 0,72.

Значення коефіцієнтів кореляції між обхватом у пучках ($O_{\text{п}}$) та іншими поперечними розмірами – $Ш_{\text{вн.п}}$ (ширина по внутрішньому пучку), $Ш_{\text{п}}$ (ширина п'ятки), $O_{\text{вн.п}}$ (обхват по внутрішньому пучку), $O_{\text{п'ятк.згин}}$ (обхват через п'ятку та точку згину стопи), $O_{\text{зовн.п}}$ (обхват по зовнішньому пучку) теж високий від 0,37 до 0,91 що підтверджує тісний статистичний зв'язок.

Наявність кореляційних зв'язків між однойменними розмірами стоп ще не дає можливість стверджувати, що зв'язок між цими параметрами суттєвий.

Для основних параметрів стоп хлопчиків та дівчаток були розраховані значення середніх квадратичних похибок коефіцієнтів кореляції $\Delta\sigma_{r_{y,x}}$ й регресії $\Delta\sigma_{R_{y,x}}$ та їх довірчі інтервали. У табл. 5 наведено отримані результати.

Таблиця 5

Оцінка $r_{y,x}$ та $R_{y,x}$ між однойменними розмірами стоп хлопчиків та дівчаток

Залежність між однойменними розмірами стоп	Похибка середнього квадратичного відхилення		Довірчий інтервал		Показник суттєвості зв'язків
	$\Delta\sigma_{r_{y,x}}$	$\Delta\sigma_{R_{y,x}}$	$r_{y,x}$	$R_{y,x}$	
Для хлопчиків					

Д _{ст} та довжинними параметрами	Д _{0,9}	0,022	0,016	0,82÷0,90	0,87÷0,93	39
	Д _{0,73}	0,016	0,036	0,87÷0,93	0,69÷0,83	56,3
	Д _{0,62}	0,031	0,050	0,74÷0,86	0,55÷0,75	25,8
	Д _{0,18}	0,062	0,077	0,40÷0,64	0,17÷0,47	8,4
О _п та іншими поперечними розмірами	Ш _{в.п}	0,068	0,082	0,29÷0,55	0,13÷0,42	6,2
	Ш _п	0,059	0,076	0,26÷0,48	0,13÷0,41	6,3
	О _{в.п}	0,055	0,016	0,59÷0,79	0,40÷0,46	12,5
	О _{з.п}	0,039	0,015	0,78÷0,92	0,63÷0,57	21,8
	О _{п.з}	0,050	0,012	0,81÷0,97	0,70÷0,74	18,2
Для дівчаток						
Д _{ст} та довжинними параметрами	Д _{0,9}	0,071	0,004	0,77÷0,97	0,97÷0,99	12,8
	Д _{0,73}	0,012	0,042	0,92÷0,96	0,68÷0,84	78,3
	Д _{0,62}	0,024	0,060	0,82÷0,92	0,51÷0,75	36,3
	Д _{0,18}	0,089	0,096	0,26÷0,60	0,23÷0,43	4,8
О _п та іншими поперечними розмірами	Ш _{в.п}	0,055	0,078	0,56÷0,76	0,30÷0,60	11,1
	Ш _п	0,063	0,083	0,48÷0,72	0,24÷0,56	8,3
	О _{з.п}	0,019	0,050	0,83÷0,93	0,60÷0,80	32,6
	О _{в.п}	0,017	0,052	0,88÷0,94	0,59÷0,79	42,4
	О _{п.з}	0,013	0,046	0,90÷0,96	0,63÷0,83	48,5

Згідно з даними табл. 6 довірчі інтервали коефіцієнтів кореляції усіх однойменних розмірів є значущими. Так довірчий інтервал зв'язку $\rho_{r_{y,x}}$ між довжиною стопи (Д_{ст}) та довжиною до середини 1-го пальця (у хлопчиків та дівчат від 0,92 до 0,95) наближується до функціональної залежності.

Для інших довжинних параметрів, а саме довжини до внутрішнього пучка та довжини до зовнішнього [8] пучка довірчі інтервали також і варіюють від 0,87 до 0,91 для першого параметра та від 0,82 до 0,91 для другого. Найбільша віддаленість від функціональної залежності спостерігається для залежності між довжиною стопи та довжиною до середини п'ятки при $0,51 < \rho_{r_{y,x}} < 0,73$ для хлопчиків, та для дівчаток $0,53 < \rho_{r_{y,x}} < 0,69$.

Крім того, додатково застосовувалися розрахунки показника суттєвості зв'язку a , який визначався за формулою:

$$a_r = \frac{r_{y,x}}{\sigma_{r_{y,x}}} \geq t_q \quad (3.25)$$

Величина показника суттєвості зв'язків a_r (табл.6) має найменше значення для залежності між довжиною стопи та D_4 – довжиною до середини п'ятки ($a_r=13,5$ для хлопчиків й $a_r=15,8$ для дівчаток), а також для залежності між обхватом у пучках та $Ш_2$ – шириною п'ятки ($a_r=11,3$ для хлопчиків й $a_r=14,2$ для дівчаток). Можна зробити висновок, що ці залежності менш суттєві або менш значущі. Це пояснюється тим, що точку найбільшої ширини у даній антропометричній частині на поверхні стопи не можливо чітко визначити.

Найбільш тісний кореляційний зв'язок спостерігається між однойменними розмірними ознаками такими, як довжина стопи та довжинні параметри – $D_{0,9}$ (довжина до середини 1-го пальця), $D_{0,73}$ (довжина до внутрішнього пучка), $D_{0,62}$ (довжина до зовнішнього пучка); обхват по середині пучків - та обхватними розмірами – $O_{\text{вн.п}}$ (обхват по внутрішньому пучку), $O_{\text{п'ятк.згин}}$ (обхват через п'ятку та точку згину стопи), $O_{\text{зовн.п}}$ (обхват по зовнішньому пучку).

За статичними параметрами стоп досліджених нами хлопчиків та дівчаток були виведені рівняння регресії для однойменних довжинних та поперечних розмірів стоп (табл.6).

Таблиця 6

Рівняння регресії, середні квадратичні відхилення та їх відносні похибки для однойменних розмірів стоп чоловіків та жінок

Розмірні ознаки стоп	Хлопчики			Дівчата		
	Рівняння регресії	Σy , мм	$\Delta \Sigma y$, %	Рівняння регресії	Σy , мм	$\Delta \Sigma y$, %
$D_{0,9}$	$D_{0,9}=0,90D_{ст}+5,81$	6,6	2,9	$D_{0,9}=0,98D_{ст}-13,15$	6,9	3,2
$D_{0,73}$	$D_{0,73}=0,76D_{ст}-4,0$	4,5	2,5	$D_{0,73}=0,76D_{ст}-3,84$	4,3	2,5
$D_{0,62}$	$D_{0,62}=0,65D_{ст}-0,66$	5,9	3,8	$D_{0,62}=0,63D_{ст}+1,48$	5,6	3,8
$D_{0,18}$	$D_{0,18}=0,32D_{ст}-32,95$	3,8	8,5	$D_{0,18}=0,25D_{ст}-14,7$	3,9	8,9
$Ш_{\text{вн.п}}$	$Ш_{\text{вн.п}}=0,29D_{ст}+17,76$	7,7	9,5	$Ш_{\text{вн.п}}=0,23D_{ст}+37,88$	4,7	5,9
$Ш_{\text{п'ят}}$	$Ш_{\text{п'ят}}=0,27D_{ст}-1,77$	5,7	10,0	$Ш_{\text{п'ят}}=0,32D_{ст}-11,09$	3,2	5,8
$O_{\text{вн.п}}$	$O_{\text{вн.п}}=0,42D_{ст}-79,97$	0,96	3,9	$O_{\text{вн.п}}=0,48D_{ст}-89,19$	1,33	9,5
$O_{\text{зовн.п}}$	$O_{\text{зовн.п}}=0,60D_{ст}-120,89$	0,70	2,9	$O_{\text{зовн.п}}=0,52D_{ст}-98,35$	1,16	5,0
$O_{\text{п'ят.згин}}$	$O_{\text{п'ят.згин}}=0,72D_{ст}-141,02$	0,75	2,3	$O_{\text{п'ят.згин}}=0,40D_{ст}-61,99$	1,82	5,8

Перевірка лінійності рівнянь регресії наведених в табл. 6 показала, що гіпотеза лінійності зв'язків може бути відкинута.

Відносна похибка рівнянь регресії для однойменних розмірів у хлопчиків варіює від 2,5% до 3,8%, тобто знаходиться у допустимих межах. Але отримана величина похибки параметра D_4 перевищує критичне допустиме значення похибки від 8,5 до 8,9% відповідно.

Абсолютні величини похибки рівнянь регресії для різних параметрів у хлопчиків коливаються від 0,7 мм до 7,7 мм, а у дівчат від 1,16 до 4,7 мм, що є дуже суттєвим для проектування колодок та взуття, тому ми відхиляємо запропоновану гіпотезу про функціональний зв'язок між однойменними параметрами стоп хлопчиків та дівчаток і для подальших розрахунків та проектування колодок та взуття для даних груп населення пропонуємо використовувати пропорційну залежність між вказаними параметрами (табл. 7).

Таблиця 7

Характерні анатомічні точки стоп дітей-школярів по довжині стопи

Характерні анатомічні точки стоп	Коефіцієнти по $D_{\text{стопи}}$											
	Хлопчики						Дівчата					
	По контуру			По відбитку			По контуру			По відбитку		
	Україна, 2014 р.	відхилення		Україна, 2014 р.	відхилення		Україна, 2014 р.	відхилення		Україна, 2014 р.	відхилення	
абс., мм		%	абс., мм		%	абс., мм		%	абс., мм		%	
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Найширше місце п'ятки	0,18	-	-	0,17	-0,4	1,0	0,18	0,18	-	0,17	-0,4	1,0
Точки: центру зовнішньої щиколотки	0,202	0,204	0,48	0,2	0,201	-0,24	0,1	0,201	-0,23	0,1	0,199	-0,7
згину стопи	0,292	0,292	-	-	0,284	-0,5	0,7	0,288	-0,3	0,4	0,277	-1,0
зовнішнього пучка	0,64	0,647	1,1	0,7	0,63	-1,4	0,9	0,63	-1,4	1,0	0,63	-1,4
середини пучків	0,382	0,385	0,3	0,3	0,373	-0,8	0,9	0,382	-	-	0,371	-0,9
внутрішнього пучка	0,742	0,743	0,2	0,1	0,736	-1,1	0,6	0,740	-0,4	0,2	0,735	-1,3
кінця відбитка п'ятого пальця	0,82	0,82	-	-	0,81	-	-	0,82	-	-	0,81	-1,4
центру відбитка першого пальця	0,922	0,923	0,5	0,2	0,919	-0,4	0,2	0,919	-0,6	0,3	0,915	-1,4

Тобто, з необхідною вірогідністю можна сказати, що між однойменними параметрами стоп хлопчиків та дівчаток існує пропорційна залежність.

Висновки

1. Перевірка гіпотези про нормальне розподілення розмірних ознак стоп чоловіків та жінок дала змогу зробити такі висновки, що розподілення частот довжинних, висотних та поперечних розмірів стоп школярів (широтних та обхватних) з достатньою імовірністю виражається законом нормального розподілення.

2. Перевірка другої закономірності виявила, що середні обхватні та широтні розміри стоп даної вікової групи пов'язані з їх довжиною ортогональною регресійною залежністю, яка у нашому випадку має вигляд:

$$y = \text{tg } \alpha \cdot x + b.$$

3. Перевірка третьої та четвертої закономірностей показала, що у школярів всі однойменні розміри стоп: довжинні - з довжиною стопи, поперечні - з обхватом у пучках, - мають між собою тісну пропорційну залежність.

4. Таким чином були отримані аналітичні залежності для проектування колодок та взуття для дітей-школярів.

Література

1. Кернеш В.П. Удосконалення гармонійності внутрішньої форми і конструкцій юнацького і дівочого взуття: дис. канд. техн. наук: 05.19.06 / Кернеш Вікторія Пилипівна. – К., 2007. – 153с.
2. Надопта Т.А. Розмірні характеристики стопи / Т.А. Надопта // ВІСНИК ХНУ. – 2008. – №1. – С. 102-106.
3. Цалюк О.В. Установление конструктивных рациональных параметров колодки и обуви для детей: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.06 / Цалюк О.В – К., 1984. – 136с.
4. Кочеткова Т.С. Антропологические и биомеханические основы конструирования изделий из кожи / Т.С. Кочеткова, В.М. Ключникова – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 192с.
5. Петухов С.В. Биомеханика, бионика и симметрия / С.В. Петухов – М.: Наука, 1981. – 240с.
6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский – М.: Высш. шк., 1988. – 239с.
7. Венецкий И.Г. Пособие по математической статистике / И.Г. Венецкий, Г.С. Кильдышева -М.: Гос.статистич. издательство. – 1956. – 245с.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных сотрудников и инженеров / Г. Корн., Т. Корн – М.: Наука, 1974. – 832 с.