

МИХАЙЛОВСЬКА ОКСАНА

Хмельницький національний університет, Україна
e-mail: mykhailovskao@khmnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-5025-6571>

ГЕЙВАЩУК СВІТЛАНА

Хмельницький національний університет, Україна
e-mail: heivashchuksm@khmnu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0007-1478-6461>

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕРГОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИТЯЧОГО АДАПТИВНОГО ВЗУТТЯ

Мета. Теоретичне обґрунтування та розробка комплексної системи ергономічних показників дитячого адаптивного взуття, що забезпечують цілісну єдність фізичного комфорту та позитивного психоемоційного стану дитини в процесі експлуатації виробу.

Методи. У дослідженні було застосовано комплексний підхід, що охоплював аналіз морфофункціональних особливостей стоп дітей з порушеннями опорно-рухового апарату та психоемоційної (сенсорної) сфери, методи ергономічного моделювання конструктивних рішень, профілювання користувачів для визначення специфічних потреб цільової групи, а також метод апріорної верифікації для прогнозування відповідності проекту інклюзивним вимогам на передпроектній стадії.

Результати. У результаті дослідження ідентифіковано, що ергономіка адаптивного взуття базується на трьох фундаментальних групах показників: антропометричних (відповідність внутрішніх параметрів взуття об'єму стопи, за необхідності з урахуванням ортезів), біомеханічних (забезпечення коректної стабілізації гомілковостопного суглоба та підтримки фізіологічного перекату стопи) і сенсорно-психологічних. Особливу увагу приділено параметрам «вхідного отвору» конструкції та інноваційним системам фіксації. Доведено, що можливість максимального розкриття взуття у поєднанні з інтуїтивно зрозумілими елементами застібання (магнітні фіксатори, кругові блискавки) є критичним фактором формування автономії дитини. Мінімізація сторонньої допомоги під час взування сприяє підвищенню самооцінки та зниженню рівня тривожності дитини.

Наукова новизна. Ключовим науковим досягненням роботи є розробка алгоритму формування профілю користувача, що інтегрує медичні показання з індивідуальною сенсорною чутливістю. Встановлено пряму залежність між тактильними характеристиками внутрішнього простору взуття та когнітивним навантаженням на нервову систему дитини: застосування безшовних технологій та паропроникних матеріалів запобігає сенсорному перевантаженню і сприяє пролонгації фізичної активності.

Практична значимість. Отримані результати лягли в основу науково обґрунтованих рекомендацій для дизайнерів та конструкторів спеціалізованого взуття. Запропонований підхід дозволяє створювати вироби, що інтегрують медичну функцію в естетику сучасного дизайну, сприяючи соціальній інклюзії. Висновки статті можуть бути впроваджені у виробництво нових лінійок дитячого адаптивного взуття, а також використані в клінічній практиці реабілітологів та протезистів.

Ключові слова: дитяче адаптивне взуття; ергономічні показники; психоемоційний стан; автономія взування; профілювання користувача; біомеханіка ходи; інклюзивний дизайн; сенсорна чутливість; апіорна верифікація; асистивні вироби.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF ERGONOMIC INDICATORS FOR CHILDREN'S ADAPTIVE FOOTWEAR

MYKHAILOVSKAA OKSANA, HEIVASHCHUK SVITLANA
Khmelnyskiy National University, Ukraine

Purpose. Theoretical substantiation and development of a comprehensive system of ergonomic indicators for children's adaptive footwear, ensuring a holistic unity of physical comfort and the child's positive psycho-emotional state during product use.

Methodology. The study employed a comprehensive approach, including the analysis of morphofunctional characteristics of the feet in children with musculoskeletal and psycho-emotional (sensory) disorders. It utilized ergonomic modeling of structural solutions, user profiling to identify specific needs of the target group, and the method of a priori verification to predict project compliance with inclusive requirements at the pre-design stage.

Results. The study identified that the ergonomics of adaptive footwear is based on three fundamental groups of indicators: anthropometric (compliance of internal footwear parameters with foot volume, accounting for orthoses where necessary), biomechanical (ensuring correct stabilization of the ankle joint and supporting the physiological roll of the foot), and sensory-psychological. Special attention is paid to the parameters of the footwear "entry point" and innovative fixation systems. It is proven that the possibility of maximum footwear opening, combined with intuitive fastening elements (magnetic fasteners, circular zippers), is a critical factor in fostering a child's autonomy. Minimizing external assistance during the donning process contributes to increased self-esteem and reduced anxiety levels in the child.

Scientific novelty. The key scientific achievement of the work is the development of an algorithm for creating a user profile that integrates medical indications with individual sensory sensitivity. A direct correlation was established between the tactile characteristics of the footwear's internal space and the cognitive load on the child's nervous system: the use of seamless technologies and breathable materials prevents sensory overload and promotes prolonged physical activity.

Practical significance. The results obtained form the basis of science-based recommendations for designers and engineers of specialized footwear. The proposed approach allows for the creation of products that integrate medical functions into modern design aesthetics, promoting social inclusion. The article's conclusions can be implemented in the production of new lines of children's adaptive footwear and utilized in the clinical practice of rehabilitation specialists and prosthetists.

Keywords: children's adaptive footwear; ergonomic indicators; psycho-emotional state; donning autonomy; user profiling; gait biomechanics; inclusive design; sensory sensitivity; a priori verification; assistive products.

Вступ. Проблема соціальної інтеграції та фізичної реабілітації дітей з порушеннями опорно-рухового апарату та психоемоційної (або сенсорної) сфери вимагає пошуку нових підходів до проектування спеціальних засобів (асистивних виробів), спрямованих на підтримку, компенсацію або відновлення порушених функцій дитини, що забезпечує підвищення її самостійності, безпеки та якості життя.

Означена проблема тривалий час вирішувалася через традиційний підхід до створення дитячого адаптивного взуття (ДАВ),

зосереджуючись виключно на біомеханічній корекції стопи, часто ігноруючи ергономіку взаємодії та психоемоційний стан дитини. Особливо для дітей із порушеннями опорно – рухового апарату (наприклад, дитячий церебральний параліч (ДЦП)) або ментальними розладами (наприклад, розлад аутистичного спектру (РАС)) взуття є не просто предметом гардероба, а критично важливим інструментом взаємодії із зовнішнім світом. Несприятливі ергономічні показники – складність маніпуляцій із системами фіксації, надмірна маса виробу та наявність

грубих внутрішніх швів – призводять до виникнення хронічного стресу, фрустрації та відчуття безпорадності.

Підтвердженням цього є низка нейропсихологічних та ергономічних закономірностей. Зокрема, згідно з теорією самодетермінації [1] блокування потреби в автономії через складність конструкції взуття формує в дитини стійку «вчену безпорадність» та знижує мотивацію до самообслуговування. Крім того, для осіб із сенсорною гіперчутливістю тактильне подразнення від внутрішніх швів сприймається нервовою системою як постійний больовий сигнал, що активує стресову реакцію мигдалеподібного тіла та призводить до когнітивного перевантаження [2, 14]. Біомеханічні дослідження підтверджують, що надмірна вага дистальних відділів взуття значно підвищує метаболічні витрати, викликаючи швидку фізичну втому, яка за принципом психосоматичного зв'язку трансформується в емоційне відторгнення рухової активності [3, 4]. Таким чином, ергономіка адаптивного взуття має розглядатись не лише як сукупність технічних параметрів, а як інструмент психоемоційної реабілітації та соціалізації дитини.

Питання ергономіки та проектування асистивних виробів для дітей є предметом вивчення багатьох вітчизняних та закордонних учених. Фундаментальні основи біомеханіки ходи, зокрема вплив швидкості на розподіл підошовного тиску та кутові рухи заднього відділу стопи, висвітлені у працях D. Rosenbaum [5]. Методологічна база для вивчення кінематичних девіацій нижніх кінцівок при патологіях опорно – рухового апарату закладена у роботах [6, 7], що дозволяє глибше зрозуміти механіку взаємодії стопи з опорною поверхнею.

Теоретичне підґрунтя для врахування психоемоційного фактора у дизайні представлено у класичних працях P. Jordan [8] та D. Norman [2], а концепція інклюзивності асистивних виробів – у дослідженнях G. Pullin [9]. Автор аргументує необхідність відходу від суто «медичного вигляду» виробів на користь

естетичної ергономіки, що сприяє соціальній інтеграції користувача.

Сучасна світова практика демонструє перехід від масового виробництва до концепції адаптивного дизайну, під яким розуміють проектування виробів, що враховують індивідуальні інклюзивні потреби та специфічну анатомію користувача. Такий підхід стає відповіддю на складні біомеханічні вимоги, які раніше ігнорувалися масовим виробництвом. Зокрема, у системному огляді M.W. Kindig підкреслено, що для правильного розвитку дитячої стопи параметри взуття повинні динамічно відповідати змінам ходи [3]. Важливий внесок у розуміння ергономіки природного руху зробили A.I. Cuesta-Vargas та колеги [4, 19], обґрунтувавши переваги «дбайливого» (respectful) взуття, що покращує пропріоцепцію (глибоку чутливість) за рахунок імітації ходьби босоніж.

В Україні розвиток цього напрямку пов'язаний із впровадженням цифрових технологій. У роботах Л. П. Чертенко та О. В. Каптюрової розглянуто методи персоналізації форми колодки на основі 3D-даних [10–12, 20]. Розробку методів забезпечення функціонально-ергономічної відповідності взуття для людей з інвалідністю та обґрунтування підходів до вибору раціональних конструкцій і матеріалів, які мінімізують тиск на стопу, що безпосередньо корелює із завданням зниження сенсорного навантаження на стопу, представлено у [13, 14]. Ці результати узгоджуються з висновками американської дослідниці A. Allen та колег щодо використання індивідуалізованих структур для стабілізації стопи [15].

Проте, незважаючи на значний доробок дослідників, питання системного зв'язку між конкретними ергономічними параметрами саме дитячого адаптивного взуття (ДАВ) (такими як конструктивна адаптивність вузлів взування або тип фіксації взуття на стопі) та психоемоційними показниками дитини (рівень автономії, сенсорний спокій) залишається недостатньо вивченим і потребує комплексного уточнення.

Постановка завдання. Формування науково обґрунтованих параметрів ДАВ вимагає перегляду пріоритетності традиційних підходів. Якщо класичні методики базуються на першочерговості біомеханічної корекції стопи, то сучасна парадигма асистивного дизайну вимагає розширення системи ергономічних показників. У цій системі технічні параметри конструкції (системи фіксації, властивості матеріалів, геометрія підошви) мають бути детерміновані не лише анатомо-функціональними особливостями, а й цільовими індикаторами психоемоційного благополуччя дитини.

Сучасний етап розвитку ергономіки характеризується зміною акцентів: від суто медичної корекції до створення антропоцентричного виробу, що забезпечує комплексну якість життя. Особливої гостроти це питання набуває у сегменті дитячого взуття, де фізична реабілітація має бути синергійно поєднана із психологічною адаптацією та підтримкою соціальної активності.

Метою дослідження є теоретичне обґрунтування та розробка комплексної методики формування ергономічних показників адаптивного взуття, що дозволяє інтегрувати медико-біологічні вимоги із психоемоційними потребами дитини в єдину цілісну систему. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Виконати ієрархічну декомпозицію вимог до ДАВ, виокремивши базові фізіологічні показники та визначальні психоемоційні параметри.

2. Розробити структурно-логічну модель формування конструктивних рішень, яка забезпечує трансформацію ергономічних вимог у конкретні параметри функціональних вузлів виробу.

3. Запропонувати інструментарій апріорної верифікації у вигляді прогностичної матриці для оцінки проектних рішень на передпроектній стадії.

4. Обґрунтувати взаємозв'язок між технічними характеристиками виробу та прогнозованим психоемоційним відгуком користувача, забезпечуючи перехід до концепції взуття як «середовища реабілітації».

Виконання поставлених задач дозволить створити науково-методичну базу для створення адаптивного взуття нового покоління, де ергономіка стає ключовим фактором інклюзії та психологічного благополуччя.

Результати дослідження та їх обговорення. Ергономічні показники (ЕП) дитячого адаптивного взуття – це комплексна система властивостей, що визначають рівень адаптивності конструкції до анатомо-фізіологічних особливостей дитини з метою забезпечення безпеки, фізичного комфорту та психоемоційної стабільності. Формування цієї системи базується на інтеграції медичних приписів, біомеханічних параметрів ходи та сучасного матеріалознавства [13, 18]. На основі проведеного аналізу було класифіковано ергономічні показники за чотирма ключовими групами: антропометричні, біомеханічні, гігієнічні та психофізіологічні.

Антропометричні показники (статична ергономіка). Антропометрична відповідність є первинною ланкою проектування, оскільки забезпечує когерентність внутрішньої форми взуття (колодки) просторовій конфігурації дитячої стопи. Враховуючи специфіку об'єкта дослідження (наявність хрящової тканини, незавершеність окостеніння та динаміку росту), встановлено, що традиційного підходу, орієнтованого на довжину стопи, недостатньо для асистивних виробів.

Для формування бази параметрів було виділено такі критичні антропометричні індикатори: обхват у пучках, що визначає необхідний внутрішній об'єм для запобігання компресії м'яких тканин; ширина та висота п'яtkового відділу – ключовий параметр для забезпечення медіолатеральної стабільності, що критично для дітей з вальгусними відхиленнями; висота прямого підйому – показник, що безпосередньо впливає на конструктивну адаптивність взування (зручність вкладання стопи у виріб). Як зазначено у працях [12, 13, 16], саме раціональне поєднання цих параметрів із властивостями матеріалів дозволяє мінімізувати локальний тиск на стопу, що є превентивним заходом проти

виникнення сенсорного дискомфорту. Процес перетворення цих медико-антропометричних вимог у конкретні параметри взуттєвої колодки реалізовано через запропоновану структурно-логічну модель, яка розглядається нижче.

Біомеханічні показники (динамічна ергономіка) характеризують взаємодію взуття зі стопою в динаміці, розглядаючи виріб як ланку кінематичного ланцюга «стопа–взуття–опора». Головною метою є оптимізація розподілу тиску та підтримка фізіологічно правильного патерну ходьби [3, 5, 21, 22]. Основним завданням є мінімізація точкових перевантажень, що запобігає больовим відчуттям та трофічним порушенням. Розрахунок тиску P на опорну поверхню проводиться за класичною залежністю:

$$P = F/S, \quad (1)$$

де F – сили реакції опори, а S – площа контакту. Адаптивне взуття має забезпечувати максимальне значення площі S через раціональну геометрію підошви для зниження пікового тиску P .

Враховуючи динамічний характер навантаження, конструкція має передбачати:

– функціональний припуск: 10–12 мм (враховує подовження стопи під час перекочування та динамічне зростання стопи, яке у дітей становить 10–15 мм на рік);

– демпфування ударних навантажень: використання матеріалів (EVA, PU) з високим коефіцієнтом поглинання енергії для захисту суглобів [15];

– гнучкість у зоні перекату: підошва повинна мати низький опір згинанню у зоні плеснофалангових суглобів (лінія, що проходить на відстані приблизно 60% довжини стопи від п'яти) [3];

– стабілізація заднього відділу: високий жорсткий берець (задник) функціонує як зовнішній обмежувач, що запобігає надмірній інверсії/еверсії п'яtkової кістки, утримуючи її в нейтральній позиції [4, 12].

Гігієнічні показники. Гігієнічні властивості є одним із ключових чинників ефективності ДАВ, оскільки безпосередньо впливають на стан шкірних покривів, терморегуляцію та функціонування м'язово-зв'язкового апарату стопи. В умовах

тривалого носіння, характерного для адаптивних моделей, порушення мікроклімату взуття може призводити до негативних медико-біологічних наслідків.

Недостатня повітропроникність і низька гігроскопічність матеріалів сприяють накопиченню вологи та підвищенню локальної температури, що створює сприятливі умови для мацерації шкіри, розвитку дерматологічних та грибкових уражень. У дітей з порушеннями опорно-рухового апарату такі ускладнення можуть викликати больові відчуття, зниження толерантності до навантаження та обмеження рухової активності.

Стопа містить велику кількість потових залоз і є важливим елементом загальної терморегуляції організму. Що важливо, дитяча стопа має недосконалу систему терморегуляції, тому питання тепловідведення є критичним. Використання матеріалів з високими гігієнічними показниками (паропроникність, гігроскопічність, гіпоалергенність, антибактеріальні властивості) забезпечує стабільний мікроклімат внутрішнього простору взуття. Це сприяє збереженню фізіологічного стану шкіри стопи та створює умови для адекватної м'язової роботи під час ходьби і особливо стосується матеріалів для деталей підкладки ДАВ.

Таким чином, внутрішні матеріали ДАВ повинні мати високу гігроскопічність (здатність вбирати вологу) та паропроникність (здатність «дихати»). Тому дуже важливо використовувати для деталей підкладки та вкладної устілки натуральну шкіру або сучасні мембранні матеріали [13], що забезпечують оптимальний мікроклімат (температуру і вологість) всередині взуття.

Окремим важливим параметром є маса виробу. Зайва вага взуття суттєво збільшує енерговитрати дитини під час ходьби. Згідно з дослідженнями, кожен додатковий 100 г ваги взуття пропорційно збільшують навантаження на м'язову систему та хребет. Для мінімізації загальної ваги ДАВ доцільно використовувати спінені полімери (EVA, PU) для виготовлення підошв [15, 20]. Таким чином, гігієнічні та масо – габаритні показники слід розглядати як функціонально значущі компоненти, що безпосередньо

впливають на формування правильного рухового стереотипу та успішність реабілітації.

Психофізіологічні показники (ПФП) в контексті адаптивного взуття часто є визначальними для успіху реабілітації. Вони визначають рівень суб'єктивного сприйняття, сенсорної інтеграції та психологічного комфорту [2, 8]. Для дітей із порушеннями опорно-рухового апарату, обтяженими розладами аутистичного спектру (РАС) або синдромом сенсорної інтеграції (СІ), критичним є фактор тактильної гіперчутливості. Найменший виступ внутрішнього шва чи складка матеріалу сприймаються як больовий сигнал, що призводить до низького комплаєнсу (відмови від носіння виробу). Саме тому мінімізація сенсорного подразнення через безшовні технології підкладки є не лише ергономічною, а й психокорекційною вимогою.

Окрім внутрішнього комфорту, ПФП визначають рівень соціальної адаптації через візуальні характеристики виробу. Принцип «нормалізованого дизайну» (inclusive design) передбачає відхід від громіздких «медичних» конструкцій на користь естетики повсякденного взуття [9, 14]. Це сприяє збереженню позитивної самооцінки та успішній інтеграції дитини в середовище однолітків [8, 9].

Методологія проектування ДАВ базується на системному процесі формування його ергономічних показників, який реалізується через три послідовні фази: аналітичну (генерація вхідних даних), синтезуючу (конструкторська інтеграція) та верифікаційну (контроль відповідності).

Аналітична фаза є фундаментом проектування, де здійснюється перехід від

усереднених стандартів до персоніфікованих параметрів. Ергономічна якість дитячого адаптивного взуття у цьому контексті визначається ступенем відповідності конструкції анатомо-функціональним та психоемоційним особливостям дитини [16, 17]. Джерелом отримання об'єктивних даних слугують сучасні інструментальні методи:

– *3D-сканування стопи та гомілки* дозволяє отримати точні метричні дані (висота підйому, форма склепіння, асиметрія), що значно перевищує інформативність традиційної плантарографії [9, 11]. На цій основі розраховуються *коефіцієнти адаптації (КА)*, наприклад, за повнотою:

$$КА_{повнота} = L_{факт} / L_{станд}, \quad (2)$$

де $L_{факт}$ – фактичний обхват у пучках стопи з патологією або ортезом, $L_{станд}$ – нормативне значення для відповідного розміру.

– *динамічна педобарографія* аналізує траєкторію центру тиску, що дозволяє виявити медіальні або латеральні зміщення при перекочуванні стопи, характерні для ДЦП [3, 5].

– *аналіз пікових ударних навантажень*. При використанні вказаного методу вимірювання максимальної сили реакції опори (F_{max}) у фазі контакту п'яти з опорною поверхнею. Це визначає вимоги до модуля пружності матеріалу підшви (E) для забезпечення демпфування та стабілізації гомілковостопного суглоба (допустимий кут інверсії/еверсії ($\leq 5^\circ$)) [15].

Окрім біомеханічних параметрів, аналітична фаза включає оцінку нефізичних (психофізіологічних) вимог, які систематизовано у таблиці 1.

Таблиця 1

Система цільових ергономічних показників дитячого адаптивного взуття

Критерій	Ціль аналізу	Кількісний показник (ЕП)
Сенсорна ергономіка	Мінімізація подразників	ЕП тактильного комфорту: толерантність до швів і текстури матеріалів. Вимога: нульова кількість швів у зоні контакту з чутливими ділянками.
Психомоторне напруження	Легкість одягання/знімання	ЕП зручності маніпуляцій: час одягання (наприклад, ≤ 10 секунд з ортезом); зусилля для застібання ($F_{заст} \leq 15$ Н).
Гігієнічність	Підтримка мікроклімату	ЕП паропроникності: коефіцієнт паропроникності матеріалів верху (≥ 5 мг/(см ² / год)).

Синтезуюча фаза (конструкторська інтеграція) розробки ДАВ розглядається як етап практичної трансформації вхідних аналітичних даних у єдину конструктивно-технологічну схему виробу. Головним завданням цього етапу є досягнення синергії між терапевтичною функцією, ергономічною безпекою та споживчою привабливістю моделі [16, 17]. Практична реалізація синтезуючої фази у проектуванні ДАВ здійснюється шляхом послідовного проходження трьох ключових етапів: механізму конструкторської інтеграції, естетико-функціональної конвергенції, алгоритму синтезу показників у конструкції.

Механізм конструкторської інтеграції базується на методі декомпозиції загальної мети на окремі функціональні вузли. Кожен вузол відповідає за реалізацію конкретного ергономічного показника. Зокрема, статико-динамічна інтеграція реалізується через оптимізацію параметрів внутрішньої форми взуття з урахуванням індивідуальних коефіцієнтів адаптації (КА). Синтезуючим елементом у цьому контексті виступає раціональна геометрія перекаату підошви та диференційована жорсткість устілкового вузла, що в сукупності забезпечує корекцію кінематики ходи дитини.

Важливим складником є сенсорно-технологічний синтез, спрямований на мінімізацію тактильних подразників. Впровадження безшовних технологій з'єднання деталей підкладки та використання м'яких кантів задовольняє вимогу «сенсорного спокою», що є критичним для пацієнтів із розладами сенсорної інтеграції [8]. Паралельно реалізується вузловий синтез адаптивних елементів, де ключовим аспектом є впровадження систем фіксації, що забезпечують автономію дитини. Конструкторські рішення включають механізми розширеного доступу, такі як технологія заднього розкриття п'яткової частини («step-in») та адаптивні системи закриття (магнітні фіксатори або дискові системи БОА), які скорочують час маніпуляцій до ≤ 10 с.

Естетико-функціональна конвергенція на цій фазі забезпечує візуальну корекцію медичної спрямованості виробу. Завдяки прийомам нівелювання масивності через

лінійний ритм деталей верху та кольорове розчленування силуету, досягається ефект соціальної інклюзії. Взуття сприймається як сучасний елемент дитячої моди, що повністю відповідає концепції «нормалізованого дизайну» [9, 23, 24].

Завершальним етапом синтезу є *послідовна ітерація показників*, яка включає:

- матеріальне втілення (добір пакету матеріалів, наприклад, натуральної шкіри у поєднанні з 3D-сітками для забезпечення паропроникності);

- композиційний синтез (формування вигляду навколо жорстких ортопедичних вузлів);

- ергономічну верифікацію (оцінка відповідності моделі цільовим параметрам зручності та психоемоційного комфорту).

За результатами проведених досліджень розроблено структурно-логічну модель формування психоемоційних показників адаптивного дитячого взуття (рис. 1), яка відображає цільові орієнтири ергономічного проектування та інтегрує функціональні, естетичні й соціально-психологічні аспекти. Представлена модель демонструє, що процес формування конструкції адаптивного взуття спрямований не лише на забезпечення фізіологічної підтримки та корекції функцій стопи, а й на створення умов для повноцінної соціальної адаптації дитини та реалізації її індивідуальності. У межах моделі ключовими психоемоційними показниками визначено можливість самостійного вибору дитиною моделі взуття та наявність персоналізованих дизайнерських елементів (колірні рішення, декоративні акценти, змінні компоненти). Зазначені чинники безпосередньо впливають на формування впевненості дитини у власному зовнішньому вигляді, позитивну самооцінку та сприяють доброзичливому сприйняттю з боку однолітків, що є важливою передумовою успішної інклюзії в освітньому й ігровому середовищах.

Класифікація фізіологічних та ергономічних вимог до конструкції дитячого адаптивного взуття дозволяє систематизувати базові параметри, що слугують основою для проектування виробів корекційного призначення. На відміну від традиційного підходу, ми

розглядаємо вимоги до взуття як пряму відповідь на специфічні анатомо-фізіологічні особливості дитячої стопи (табл. 2).

У результаті систематизації встановлено, що ключовими факторами ефективності є не

лише біомеханічна підтримка, а й адаптивність об'єму та амортизаційна безпека, що в сукупності забезпечують високу толерантність дитини до процесу реабілітації.



Рис. 1. Структурно-логічна модель формування психоемоційних показників адаптивного дитячого взуття

Таблиця 2

Матриця відповідності фізіологічних особливостей стопи та ергономічних вимог до конструкції дитячого адаптивного взуття

Фізіологічне обґрунтування (особливості стопи)	Ергономічна вимога до конструкції	Технічне рішення (реалізація)
Незавершене окостеніння та активний ріст	Забезпечення вільного простору для розвитку	Функціональний припуск (10–12 мм), широка носкова частина.
Гнучкість зв'язкового апарату	Стабілізація та профілактика деформацій	Високий жорсткий берець (задник) для нейтральної позиції п'яти.
Специфіка терморегуляції (високе потовиділення)	Підтримка гігієнічного мікроклімату	Натуральна шкіра або мембрани ($\geq 5 \text{ мг/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{год}$).
Чутливість до динамічних навантажень	Амортизація та зниження реакції опори	Підшва зі спінених полімерів (EVA/PU) з демпфуючими зонами.
Необхідність використання ортезів	Регулювання внутрішнього об'єму	Адаптивні системи фіксації (Velcro, BOA, магнітні застібки).

Сукупність зазначених вимог формує науково-методичний фундамент для проектування дитячого адаптивного взуття нового покоління, де кожне конструктивне рішення є детермінованим як медичними показниками, так і потребами дитини в комфорті та соціальній активності.

Синтез психоемоційних та фізіологічних особливостей у конструктивних параметрах дитячого адаптивного взуття базується на

принципі, що фізичний комфорт є фундаментом для психологічного благополуччя, а естетична привабливість конструкції безпосередньо впливає на соціалізацію дитини [9, 23, 24]. Переплетення сфер при формуванні ергономічних показників наступна:

1. *Фізична автономія та впевненість у собі.* Фізіологічна потреба дитини у зручності маніпуляцій реалізується через розширене розкриття берців та адаптивні застібки.

– *фізіологічний ефект*. Зниження навантаження на дрібну моторику;

– *психоемоційний результат*. Перехід дитини від об'єкта сторонньої допомоги до активного суб'єкта діяльності [8].

2. *Стабілізація стопи та відчуття безпеки*. Використання жорстких задників та «анатомічної підошви» забезпечує стійкість під час руху.

– *фізіологічний ефект*. Корекція кінематики ходи;

– *психоемоційний результат*. Зниження рівня тривожності під час групових ігор завдяки «надійній фіксації», що полегшує соціальний контакт.

3. *Гігієнічні властивості як запобіжник стресу*. Показники вентиляції та гігроскопічності матеріалів підкладки запобігають сенсорному перевантаженню.

– *фізіологічний ефект*. Підтримка оптимального мікроклімату.

– *психоемоційний результат*. Відсутність тактильного подразнення виключає негативні емоційні стани, особливо у дітей з підвищеною сенсорною чутливістю.

4. *Дизайн як інструмент інклюзії*. Поєднання терапевтичної функції з візуальною нормалізацією («нормалізований дизайн»).

– *психоемоційний результат*. Можливість самовираження через колір та стиль забезпечує позитивні реакції однолітків, що є вершиною соціальної адаптації [9, 23, 24].

Верифікаційна фаза у процесі розробки конструкції дитячого адаптивного взуття розглядається як етап експертно-аналітичного контролю відповідності запропонованих рішень визначеним ергономічним вимогам. У межах дослідження реалізовано апріорну верифікацію, яка базується на методах теоретичного моделювання та прогностичного аналізу. Це дозволило встановити концептуальну відповідність проекту інклюзивним вимогам на етапі проектування без передчасних витрат на виготовлення дослідних зразків [12].

На відміну від стандартних випробувань готових виробів, верифікація на етапі проектування передбачає перевірку «життєздатності» ідеї через аналіз відповідності внутрішнього об'єму взуття параметрам стопи з урахуванням компенсації деформацій,

оцінку працездатності механічних вузлів (застібки, елементів розкриття), залучення профільних фахівців (ортопедів та психологів) для оцінки потенційного психоемоційного відгуку дитини [8, 9, 23, 24].

Ключовим аспектом верифікації є встановлення зв'язку між фізичною структурою взуття та очікуваною реакцією організму. На основі розрахунків встановлено, що перехід до безшовних технологій підкладки виключає зони пікового тиску, що веде до стабілізації психофізіологічного стану дитини через усунення тактильного дискомфорту.

Для підтвердження ефективності синтезованих показників апробовано метод апріорної верифікації через використання прогностичної матриці (табл. 3).

Таким чином, верифікаційна фаза довела спроможність методу апріорного моделювання як інструменту прогнозування експлуатаційної ефективності ДАВ, яке здатне виконувати не лише стабілізуючу, а й стимулюючу функцію, сприяючи активній соціалізації дитини.

Висновки. У ході дослідження, присвяченого визначенню та формуванню ергономічних показників у конструкціях ДАВ, було отримано такі результати:

1. Обґрунтовано комплексну методологію ДАВ, яка базується на трифазній моделі (Аналіз – Синтез – Верифікація). Це дозволило інтегрувати антропометричні та біомеханічні чинники з психоемоційними показниками, визначивши останні як критично значущі для ефективної реабілітації та соціалізації дитини.

2. Класифіковано ключові ергономічні індикатори якості, серед яких пріоритетне значення надано: параметрам конструктивної адаптивності (забезпечення автономії взування через системи легкого доступу «Easy Entry»); біомеханічній стабілізації (підтримка фаз перекаату стопи); та сенсорній безпеці внутрішнього простору (мінімізація тактильного подразнення через безшовні технології).

3. Доведено пряму кореляцію між ергономічною досконалістю конструкції та психоемоційним станом дитини. Через впровадження прогностичної матриці

встановлено, що мінімізація фізичного дискомфорту та можливість самообслуговування безпосередньо сприяють зниженню

рівня тривожності та підвищенню самооцінки дітей із порушеннями опорно-рухового апарату.

Таблиця 3

Прогностична матриця взаємозв'язку конструктивних параметрів дитячого адаптивного взуття з очікуваними індикаторами якості життя дитини

Конструктивний параметр	Прогноз фізіологічних змін	Очікуваний індикатор якості життя
Система повного розкриття (Easy Entry)	Мінімальне зусилля при вкладанні стопи, відсутність тертя у п'ятковій частині.	Рівень автономності: дитина здатна самостійно взуватися, що зміцнює почуття незалежності.
Магнітні застібки / фіксатори	Надійна фіксація стопи без залучення дрібної моторики рук.	Психологічний комфорт: зникнення стресу через невдалі спроби зашнуровування; зростання самооцінки.
Візуальне маскування орто – вузлів (Street-style)	Збереження лікувальних функцій при сучасному зовнішньому вигляді.	Соціальна інклюзія: відсутність візуальної стигми; дитина відчувається рівною серед однолітків.
Безшовна підкладка	Рівномірний розподіл тиску, відсутність ризику мікротравм шкіри.	Емоційна стабільність: мінімізація сенсорного шуму, що знижує дратівливість протягом дня.
Підощва з рокер-ефектом	Оптимізація біомеханічного циклу кроку, енергозбереження при ходьбі.	Фізична активність: підвищення витривалості та мотивації до тривалих ігор.

4. Запропоновано інструментарій апріорної верифікації проєкту, що базується на використанні коефіцієнтів адаптації (КА). Це забезпечує трансформацію патологічних відхилень у конкретні технічні параметри внутрішнього об'єму взуття, реалізуючи перехід від типових методів проєктування до персоналізованих інклюзивних рішень.

Практична значущість роботи полягає у створенні науково-методичної бази для

проєктування ДАВ, яке виступає не лише ортопедичним виробом, а й інструментом психологічної реабілітації. Перспективи подальших досліджень пов'язані з автоматизацією розрахунків КА через впровадження адитивних технологій та 3D-моделювання для досягнення максимальної антропометричної відповідності.

Література

- Ryan R. M., Deci E. L. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*. 2000. Vol. 55, No. (1). P. 68–78. DOI: <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>.
- Norman D. A. Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things. New York: Basic Books, 2004. 257 p.
- Kindig M. W. et al. Understanding the Role of Children's Footwear on Children's Feet and Gait Development; A Systematic Scoping Review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 32.
- Cuesta-Vargas A. I. et al. Respectful Children's Shoes: A Systematic Review. *Children*. 2024. Vol. 11, No. 2. P. 215. DOI: <https://doi.org/10.3390/children11020215>.
- Rosenbaum D., Hautmann S., Gold M., Claes L. Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture*. 1994. Vol. 2, No. 3. P. 191–197. DOI: [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0966-6362(94)90024-8).
- Allison K., Hall M., Wrigley T. V., Pua Y.-H., Metcalf B., Bennell K. L. Sex-specific walking kinematics

References

- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well – being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78, <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>.
- Norman, D. A. (2004). Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things. New York: Basic Books. 257 p.
- Kindig, M. W. et al. (2023). Understanding the Role of Children's Footwear on Children's Feet and Gait Development: A Systematic Scoping Review. *Journal of Foot and Ankle Research*, 16(1), 32.
- Cuesta-Vargas, A. I. et al. (2024). Respectful Children's Shoes: A Systematic Review. *Children*, 11(2), 215, <https://doi.org/10.3390/children11020215>.
- Rosenbaum, D., Hautmann, S., Gold, M., & Claes, L. (1994). Effects of walking speed on plantar pressure patterns and hindfoot angular motion. *Gait & Posture*, 2(3), 191–197, [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0966-6362(94)90024-8).
- Allison, K. et al. (2018). Sex – specific walking kinematics and kinetics in individuals with unilateral,

and kinetics in individuals with unilateral, symptomatic hip osteoarthritis. *Gait & Posture*. 2018. Vol. 65. P. 234–239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.07.179>.

7. Allison K., Hall M., Hodges P. W., Wrigley T. V., Vicenzino B., Pua Y.-H., Metcalf B., Grimaldi A., Bennell K. L. Gluteal tendinopathy and hip osteoarthritis: Different pathologies, different hip biomechanics. *Gait & Posture*. 2018. Vol. 61. P. 459–465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.011>.

8. Jordan P. W. *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. London: Taylor & Francis, 2000. 272 p.

9. Pullin G. *Design Meets Disability*. Cambridge, MA: MIT Press, 2009. 256 p. ISBN 978-0-262-16251-7.

10. Чертенко Л. П., Каптюрова О. В. Improving the footwear ergonomics by personalizing its shape. *Advanced Materials and Systems: Proceedings of the 9th International Conference (ICAMS 2022)*. Bucharest, 2022. P. 345–350.

11. Каптюрова Д. О., Чертенко Л. П., Липський Т. М. Перспективи впровадження інноваційних технологій у виробництво ортопедичного взуття в Україні. *Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості: матеріали V Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених*, м. Київ, 15 листопада 2024 року. Т. 1. Київ: КНУТД, 2024. С. 277–285.

12. Чертенко Л., Кернеш В., Кузіна Н. Індивідуалізація ортопедичного взуття: Ключові фактори при проектуванні. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2024. Vol. 339, № 4. С. 491–496.

13. Mykhailovska O., Lobanova H., Soltyk I., Nadopta T. Development of comfortable shoes for people with disabilities. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2022. Vol. 311, № 4. С. 168–175. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-168-175>.

14. Михайловська О., Надопта Т. Показники якості для спеціального взуття військового призначення. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2023. Vol. 321, № 3. P. 348–354. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-348-354>.

15. Allen A. et al. Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1270253>.

16. Михайловська О. А. Характеристика показників якості спеціального дитячого взуття для занять спортивними бальними танцями. *Вісник Хмельницького національного*

symptomatic hip osteoarthritis. *Gait & Posture*, 65, 234–239, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.07.179>.

7. Allison, K., Hall, M., Hodges, P. W., Wrigley, T. V., Vicenzino, B., Pua, Y.-H., Metcalf, B., Grimaldi, A., & Bennell, K. L. (2018). Gluteal tendinopathy and hip osteoarthritis: Different pathologies, different hip biomechanics. *Gait & Posture*, 61, 459–465, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.011>.

8. Jordan, P. W. (2000). *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. London: Taylor & Francis. 272 p.

9. Pullin, G. (2009). *Design Meets Disability*. Cambridge, MA: MIT Press. 256 p. ISBN 978-0-262-16251-7.

10. Chertenko, L. P., & Kaptiurova, O. V. (2022). Improving the footwear ergonomics by personalizing its shape. *Advanced Materials and Systems: Proceedings of the 9th International Conference (ICAMS 2022)* (pp. 345–350). Bucharest.

11. Kaptiurova, D. O., Chertenko, L. P., & Lypskyi, T. M. (2024). Perspektyvy vprovadzhennia innovatsiinykh tekhnolohii u vyrobnytstvo ortopedychnoho vzuttia v Ukraini [Prospects for the introduction of innovative technologies in the production of orthopedic footwear in Ukraine]. *Innovatyka v osviti, nauksi ta biznesi: vyklyky ta mozhlyvosti: materialy V Vseukrainskoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh*, m. Kyiv, 15 lystopada 2024 roku. Vol. 1 (pp. 277–285). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

12. Chertenko, L., Kernesh, V., & Kuzina, N. (2024). Indyvidualizatsiia ortopedychnoho vzuttia: Kliuchovi faktory pry proiektuvanni [Customizing Orthopedic Footwear: Key Design Factors]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 339(4), 491–496 [in Ukrainian].

13. Mykhailovska, O., Lobanova, H., Soltyk, I., & Nadopta, T. (2022). Development of comfortable shoes for people with disabilities. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 311(4), 168–175, <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-311-4-168-175>.

14. Mykhailovska, O., & Nadopta, T. (2023). Pokaznyky yakosti dlia spetsialnoho vzuttia viiskovoho pryznachennia [Quality indicators for special military footwear]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 321(3), 348–354, <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2023-321-3-348-354> [in Ukrainian].

15. Allen, A. et al. (2023). Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1270253>.

16. Mykhailovska, O. A. (2008). Kharakterystyka pokaznykiv yakosti spetsialnoho dytiachoho vzuttia dlia zaniat sportyvnyumu balnymy tantsiamy [Characteristics of quality indicators of special children's shoes for ballroom dancing]. *Visnyk*

університету. 2008. № 4(36). С. 137–139.

17. Лобанова Г. Є., Цимбалюк В. М., Пухальська Ю. В. Дослідження впливу конструкторсько-технологічних особливостей взуття на психологічну оцінку його комфортності. *Вісник ХНУ*. 2012. № 3. С. 249–254.

18. Олійникова В. В., Бабиш А. І., Луканюк Я. С., Марущенко О. В. Вимоги до матеріалів верху, низу, конструкції та технології виготовлення спеціального взуття. *Легка промисловість*. 2010. № 3. С. 14–15.

19. Roldán-Jiménez C., Cuesta-Vargas A. I., Martín-Martín J. Three-dimensional kinematics during shoulder scaption in asymptomatic and symptomatic subjects by inertial sensors. *Sensors*. 2022. Vol. 22, № 8. Article 3081. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22083081>.

20. Uhlrich S. D. et al. Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2023. Vol. 11. Art. 114522.

21. Cranage S., Perraton L., Bowles K.-A., Williams C. A comparison of young children's spatiotemporal measures of walking and running in three common types of footwear compared to bare feet. *Gait Posture*. 2020. Vol. 81. P. 218–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.07.147>.

22. Cranage S., Perraton L., Bowles K.-A., Williams C. A comparison of young children's spatiotemporal gait measures in three common types of footwear with different sole hardness. *Gait Posture*. 2021. Vol. 90. P. 276–282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.165>.

23. Фоміна С., Корнійчук І., Долішня А. Аналіз спеціального взуття для дітей з особливими потребами та його дизайну в контексті призначення. Тези доп. *VII Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного дизайну»* (КНУТД, Київ, 4 квітня 2025 р.). Київ: КНУТД, 2025. С. 409–412.

24. Фоміна С. В., Надопта Т. А. Основні антропометричні показники стоп дітей та їх врахування при розробці взуття. *Тези доп. VIII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій* (КНУТД, Київ, 17 жовтня 2024 р.). Київ: КНУТД, 2024. С. 208–211.

Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, 4(36), 137–139 [in Ukrainian].

17. Lobanova, H. Ye., Tsybaliuk, V. M., & Pukhalska, Yu. V. (2012). Doslidzhennia vplyvu konstruktorsko – tekhnolohichnykh osoblyvosti vzuttia na psykholohichnu otsinku yoho komfortnosti // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. 2012. № 3. S. 249–254 [in Ukrainian].

18. Oliinykova, V. V., Babysh, A. I., Lukaniuk, Ya. S., & Marushchenko, O. V. (2010). Vymohy do materialiv verkhу, nyzu, konstrukttsii ta tekhnolohii vyhotovlennia spetsialnoho vzuttia [Requirements for upper and lower materials, design and manufacturing technology of special footwear]. *Lehka promyslovisht*, 3, 14–15 [in Ukrainian].

19. Roldán-Jiménez, C., Cuesta-Vargas, A. I., & Martín-Martín, J. (2022). Three-dimensional kinematics during shoulder scaption in asymptomatic and symptomatic subjects by inertial sensors. *Sensors*, 22(8), 3081, <https://doi.org/10.3390/s22083081>.

20. Uhlrich, S. D. et al. (2023). Walking with individualized 3D-printed minimal footwear increases foot strength and produces subtle changes in unroll pattern. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 114522.

21. Cranage, S., Perraton, L., Bowles, K.-A., & Williams, C. (2020). A comparison of young children's spatiotemporal measures of walking and running in three common types of footwear compared to bare feet. *Gait Posture*, 81, 218–224, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.07.147>.

22. Cranage, S., Perraton, L., Bowles, K.-A., & Williams, C. (2021). A comparison of young children's spatiotemporal gait measures in three common types of footwear with different sole hardness. *Gait Posture*, 90, 276–282, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.165>.

23. Fomina, S., Korniiichuk, I., & Dolishnia, A. (2025). Analiz spetsialnoho vzuttia dlia ditei z osoblyvymy potrebamy ta yoho dyzainu v konteksti pryznachennia [Analysis of special footwear for children with special needs and its design in the context of its intended purpose]. *Tezy dop. VII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia "Aktualni problemy suchasnoho dyzainu"* (KNUTD, Kyiv, April 4, 2025). (pp. 409–412). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

24. Fomina, S. V., & Nadopta, T. A. (2024). Osnovni antropometrychni pokaznyky stop ditei ta yikh vrakhuvannia pry rozrobsci vzuttia [Basic anthropometric indicators of children's feet and their consideration when developing footwear]. *Tezy dop. VIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia tekstylnykh ta feshn tekhnolohii* (KNUTD, Kyiv, October 17, 2024.) (pp. 208–211). Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].