

УДК 677.075:  
[620.17:  
658.662]

ЄЛІНА Т. В., ГАЛАВСЬКА Л. Є.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

### ЕРГОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТРИКОТАЖУ ТА ЇХ ЗВ'ЯЗОК З ГЕОМЕТРИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Мета.** Метою даного дослідження є аналіз ергономічних показників якості трикотажу, що формують відчуття термофізіологічного комфорту людини, та встановлення їх зв'язку з геометричними характеристиками будови трикотажу для вивчення можливості прогнозування комфортності за допомогою систем автоматизованого проектування.

**Методика.** У процесі дослідження використано методи теоретичного аналізу, основні положення теорії в'язання, теорії тонких пружних оболонок, базові поняття механіки та основ гідродинаміки.

**Результати.** Проведено теоретичний аналіз наукових робіт та нормативно-технічної документації, присвячених різним аспектам визначення та забезпечення на необхідному рівні ергономічних показників якості трикотажу, що характеризують рівень його зручності та комфортності. З'ясовано, що більшість науковців вважають найбільш важливими для формування відчуття комфорту показники повітропроникності, паропроникності, теплопровідності, гігроскопічності, електричного опору, а також показники жорсткості та розтяжності, адже вони забезпечують здатність трикотажу зберігати форму та відповідати розмірам тіла людини.

У ході аналізу встановлено, що показники ергономічності трикотажу, які формують термофізіологічний комфорт виробів з нього, залежать від таких характеристик як діаметр нитки; довжина нитки в петлі; петельний крок; висота петельного ряду; товщина та інші. Теоретичні моделі механічних та фізичних властивостей трикотажу є функціями геометричних характеристик його будови, тому від якості тривимірної геометричної моделі нитки, пров'язаної у трикотаж, залежить якість прогнозування властивостей трикотажу як текстильного матеріалу з використанням сучасних програмно-аналітичних комплексів.

**Наукова новизна.** У результаті аналітичного огляду наукових публікацій та нормативно-технічної документації визначено показники ергономічності трикотажу, що формують відчуття термофізіологічного комфорту та встановлено їх зв'язок з геометричними характеристиками будови трикотажу.

**Практична значимість.** Проаналізовано оприлюднені у наукових публікаціях теоретичні моделі повітропроникності, теплопровідності та розтяжності з точки зору можливості їх використання у якості основи математичного забезпечення системи автоматизованого проектування трикотажних виробів.

**Ключові слова:** трикотаж; ергономічні показники; термофізіологічний комфорт; геометричні характеристики будови; повітропроникність; теплопровідність; фактура поверхні; розтяжність.

**Вступ.** Показники ергономічності об'єднують групу показників, які характеризують вплив текстильних матеріалів, зокрема трикотажу, на самопочуття та працездатність людини, зручність при експлуатації виробів. Сюди відносять показники, які свідчать про гігієнічність полотен та комфортність виробів з них (гігроскопічність, капілярність, водопоглинання, повітро- і паропроникність, теплопровідність, жорсткість, товщина, розтяжність тощо). При цьому розрізняють загальні, обов'язкові для всіх груп полотен, та спеціальні (додаткові) показники, що використовуються лише для окремих груп полотен залежно від їх призначення. За визначенням, наведеним у ДСТУ 3998-2000 [1], показники ергономічності включають гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні показники. При цьому гігієнічні показники характеризують взаємодію матеріалів або виробів з пароподібною чи рідкою вологою, здатність матеріалів до генерації чи накопичення зарядів статичної електрики,

проникність матеріалів або виробів для повітря, пари, тепла тощо. До антропометричних показників відносять показники, що характеризують відповідність конструкції виробу формі та розмірам тіла людини.

Відповідно до [2], показники ергономічності текстильних матеріалів, що характеризують зручність виробу та комфортність його експлуатації, включають дві підгрупи: гігієнічні показники (визначають відповідність матеріалів гігієнічним умовам життєдіяльності людини) та показники комфортності (визначають ступінь відповідності матеріалів фізіологічним та психологічним особливостям людини).

Виробники сучасних текстильних матеріалів широко використовують нові види сировини та оригінальні технологічні рішення для того, щоб задовольнити найрізноманітніші вимоги споживачів, що поступово зміщуються у бік забезпечення максимальної комфортності та функціональності. Комфорт зазвичай описується сотнями параметрів. Однак основними аспектами комфорту є психологічний, термофізіологічний та нейрофізіологічний [3]. Оскільки оцінка рівня психологічного комфорту головним чином спирається на суб'єктивні відчуття людини, дослідження комфортності текстильних матеріалів та виробів стосуються більшою мірою питань забезпечення комфорту термофізіологічного та нейрофізіологічного (який у інших дослідженнях називають тактильним або сенсорним [4]). Сенсорний комфорт характеризується тим, що відчуває людина внаслідок взаємодії одягу та шкіри у певних атмосферних умовах. На відчуття нейрофізіологічного комфорту впливають фактура матеріалів, шорсткість поверхні, здатність до зминання та створення заломів [5, 6]. З посиланням на роботу А. Iggo (1988) [7] автори дослідження [4] відзначають наявність трьох основних подразників шкіри: механічний контакт з зовнішніми об'єктами, температурні зміни, викликані тепловими потоками, хімічні впливи. У відповідь на різноманітні подразнення рецептори шкіри можуть продукувати відчуття тепла, холоду, дотику чи болю. На нейрофізіологічний аспект [4] комфортності текстильного матеріалу одягу також впливають такі характеристики як: колючість (prickliness) та (scratchiness), жорсткість (stiffness), м'якість (softness), гладкість (smoothness), шорсткість (roughness), тертя (friction), схильність матеріалу викликати зуд (itchiness), а також тактильні властивості: теплий чи прохолодний матеріал на дотик, чи викликає він відчуття сирості (dampness sensations). Колючість пов'язана з наявністю жорстких ворсинок, які піднімаються над поверхнею матеріалу. Вологе прилипання відбувається у наслідок потовиділення. На ступінь прилипання матеріалу найбільше впливають такі характеристики як опорна поверхня, змочуваність та площа контакту матеріалу зі шкірою. Тепло на дотик відчувається, коли одяг вперше беруть в руки або вдягають. У дослідженні С. Кавабати [8] жорсткість текстильних матеріалів розглядається як показник, що може бути визначений як об'єктивно (інструментально), так і суб'єктивно. Відчуття шорсткості залежить як від геометрії поверхні полотна, так і від площі контакту одягу зі шкірою та силової взаємодії між ними.

Прогнозування показників ергономічності трикотажних полотен та виробів з них пов'язано з визначенням їх механічних властивостей та так званих «транспортних» властивостей [4], які характеризують здатність матеріалу пропускати повітря, вбирати та відводити вологу та водяну пару. Зазвичай зручність трикотажного одягу пояснюється підвищеними показниками розтяжності та повітропроникності, які, у свою чергу, залежать від виду переплетення, параметрів технологічних режимів виготовлення й оздоблення та властивостей ниток. Завдяки прояву пружних властивостей спрощується конструкція трикотажного одягу, а зональне градування ступеню розтягу у певних межах дозволяє виробам прилеглого силуету повторювати форму тіла людини. Однак, відхилення значень тиску одягу на тіло людини у бік збільшення можуть викликати відчуття скутості рухів, перешкоджати нормальному кровообігу або натирати шкіру. З іншого боку, недостатня

пружність трикотажу може зіпсувати зовнішній вигляд, не забезпечувати потрібне утримання виробу в процесі експлуатації, викликати інші незручності. Такі показники як еластичність та розтяжність трикотажу належать до групи ергономічних показників, що забезпечують антропометричну відповідність виробів. Встановлення зв'язку між показниками будови та властивостями трикотажу є ключовою науково-технічною проблемою на шляху розробки методів проектування трикотажу з прогнозованими властивостями.

**Постановка завдання.** З точки зору виробника, вирішення питання формування комфортності трикотажних виробів – це частина роботи із забезпечення належної якості, адже у багатьох випадках її рівень є визначальним для споживача під час прийняття рішення щодо придбання виробу. Якість при цьому залежить від обраних методик проектування та технологій виготовлення й оздоблення [9]. Існують різні підходи до визначення показників якості трикотажних полотен та виробів та методи їх оцінювання. Так, у роботах [10–13] та ін. розрізняють чотири групи показників якості: показники призначення, експлуатаційні, гігієнічні та естетичні. При цьому механічні властивості матеріалу, такі як розривальне навантаження, жорсткість, розтяжність, відносяться до експлуатаційних, а показники, що забезпечують термофізіологічний комфорт, – до гігієнічних показників якості. У роботі [14] ергономічні показники класифікують за такими групами: показники, що характеризують проникність матеріалу для повітря, пари, тепла, світла, пилу та ін.; показники, що характеризують взаємодію матеріалу з вологою; показники, що характеризують електричні властивості та ті, що визначають здатність до забруднення та очищення від забруднень. У роботі [14] до показників ергономічності відносять також показники антропометричної відповідності виробу формі та розмірам тіла людини. За іншою класифікацією, наведеною у роботах [2, 16], саме показники ергономічності забезпечують відповідність вимогам споживача за двома підгрупами показників, такими як: гігієнічні, що визначають відповідність матеріалів гігієнічним умовам життєдіяльності людини (гігроскопічність, повітропроникність, паропроникність, теплозахисні характеристики та ін.), та показники комфортності, що визначають ступінь відповідності матеріалів та виробів, виготовлених з нього, фізіологічним особливостям та антропометричним характеристикам людини (товщина, жорсткість, поверхнева щільність та ін.). У роботі О.Б. Демократової [12] наведено перелік найбільш значущих гігієнічних показників якості, сформований на підставі аналітичного огляду двадцяти чотирьох робіт наукового та нормативно-технічного характеру, опублікованих в період з 1968 по 2002 роки. До таких показників автор відносить: повітропроникність, жорсткість, паропроникність, гігроскопічність, швидкість висихання, вологовіддачу, водовбиральність, водомісткість, вологопоглинання поверхнею, капілярність, вологопровідність, схильність до прилипання, теплопровідність, сумарний тепловий опір, електризуємість, пиломісткість та забруднюваність, матеріаломісткість, зміну лінійних розмірів після мокрих оброблень, стійкість до механічних впливів, стійкість до мокрих оброблень, стійкість пофарбування, водотривкість. Номенклатура та вагомість окремих показників залежить від призначення трикотажу, але найчастіше [12] до найбільш вагомих показників якості трикотажу відносять повітро- та паропроникність, гігроскопічність, а також питомий поверхневий електричний опір.

Встановлення математичних залежностей між геометричними характеристиками будови трикотажу та його ергономічними показниками є складною багатофакторною задачею, а її вирішення є ключовим етапом створення математичного забезпечення для сучасних засобів проектування трикотажу з прогнозованими властивостями.

**Результати досліджень.** Ергономічні властивості трикотажних полотен забезпечують зручність і комфорт при експлуатації виробів з нього. Номенклатура обов'язкових ергономічних показників якості трикотажних полотен та виробів залежить від асортиментної

групи та їх призначення. До показників ергономічності, що формують термофізіологічний комфорт належать гігроскопічність, капілярність, водопоглинання, повітро- та паропроникність, теплопровідність, фактура внутрішньої поверхні та розтяжність тощо. Такі показники гігієнічних властивостей трикотажних полотен як гігроскопічність, паропроникність, капілярність та водопоглинання обумовлені у першу чергу сировинним складом пряжі чи ниток, з яких їх вироблено. При цьому повітропроникність, теплопровідність, фактура внутрішньої поверхні та розтяжність трикотажу як показники, що впливають на відчуття комфорту залежать від характеристик будови трикотажу. Визначення та прогнозування зазначених показників якості трикотажних полотен є надзвичайно важливою науковою задачею в контексті забезпечення необхідної функціональності трикотажних виробів різного призначення.

Трикотаж утворюється послідовним згинанням нитки (ниток) у петлі, які закріплюються у полотні за рахунок переплетення з іншими петлями у системі петельних рядів та петельних стовпчиків. Крім петель, в залежності від переплетення, структура трикотажу може містити різні види накидів, протяжок та відрізків ниток, не пров'язаних у петлі (утокові нитки). Якщо розглядати трикотаж як матеріальний об'єкт, який у тривимірному просторі характеризується такими геометричними розмірами як довжина, ширина та висота (товщина), можна сказати, що властивості такого об'єкту напряду залежать від того, яка частка цього об'єму зайнята матеріалом нитки, який це матеріал, та як саме нитка розташована всередині даного об'єму. Розрізняють такі групи властивостей трикотажу [17]: геометричні (щільність по вертикалі та по горизонталі, довжина нитки в петлі, товщина та ін); механічні (розтяжність, пружність, розпускальність, закручуваність та ін.); зміна лінійних розмірів після мокрих обробок, а також у процесі виготовлення й експлуатації (зносоустійкість); фізичні (теплозахисні, гігроскопічні).

Геометричні характеристики, обумовлені особливостями розташування нитки в об'ємі трикотажного полотна, називають характеристиками будови. До таких характеристик відносять розрахунковий  $d_p$ , умовний  $d_y$  та середній  $d_c$  діаметри нитки, мм; довжину нитки в петлі  $\ell$ , мм; петельний крок  $A$ , мм; висоту петельного ряду  $B$ , мм; товщину трикотажу  $M$ , мм; модуль петлі  $\sigma$ , телескопічний захід петель та ін. Крім цього використовують також показники будови трикотажу, що визначають відношення площі чи об'єму нитки, пров'язаної в петлю до площі чи об'єму, що припадає на одну петлю як елементарний об'єм трикотажного полотна (що у термінах механіки можна умовно назвати гнучкою пластиною або оболонкою). Це такі відомі показники [18] як поверхневий модуль петлі, що визначається за (1), та об'ємний модуль петлі (2).

$$\sigma_n = \frac{A \cdot B}{\ell \cdot d_y} \quad (1)$$

$$\sigma_o = \frac{4 \cdot A \cdot B \cdot M}{\pi \cdot \ell \cdot d_y^2} \quad (2)$$

Оцінку заповнення об'єму трикотажу матеріалом ниток можна виконати за показниками об'ємності (рихлості) (3) та коефіцієнтом поверхневого (4) заповнення трикотажу.

$$P_T = \frac{V_T}{V_B} \quad (3)$$

де  $P_T$  – рихлості трикотажу;  $V_T$  – об'єм трикотажу,  $\text{мм}^3$ ;  $V_B$  – об'єм волокон,  $\text{мм}^3$ ;

$$E = \frac{100 \cdot \ell \cdot d_c}{A \cdot B} \quad (4)$$

*Повітропроникність.* Повітропроникність – один з гігієнічних показників ергономічності, що залежить від багатьох чинників, найважливішими з яких є структура переплетення, параметри режиму в'язання, умови експлуатації, способи обробки, вид сировини та ін. Здатність текстильних матеріалів, що використовуються у виробництві одягу, пропускати повітря суттєво впливає на відчуття комфорту людини. У відповідності до ДСТУ ISO 9237:2003 повітропроникність визначають як здатність матеріалу пропускати повітря. Коефіцієнт повітропроникності характеризує кількість повітря (дм<sup>3</sup>), що проходить крізь 1 м<sup>2</sup> трикотажу, тканини чи нетканого полотна в одну секунду при певній різниці тиску по дві сторони матеріалу. Показник повітропроникності є важливою характеристикою пористих матеріалів. Зазвичай у структурі тканин та трикотажу розрізняють наскрізні пори (міжниткові проміжки) та повітряні канали, що містяться у структурі ниток. Опису теоретичних залежностей між показниками повітропроникності та геометричними характеристиками тканин та трикотажних полотен присвячено багато робіт [19–23]. Головним чином, показники повітропроникності визначаються розміром та формою наскрізних пор. Показники заповнення матеріалом нитки об'єму трикотажу, наведені вище (вирази 1–4), можна використовувати для приблизної оцінки проникності трикотажу, але важливо також враховувати й інші фактори. Так, у роботі [21] автор робить важливе спостереження, що текстильні матеріали з однаковим заповненням можуть мати різну повітропроникність через різні розміри пор. Тканини з тонких ниток з маленькими порами мають меншу повітропроникність, ніж тканини, виготовлені з ниток великих діаметрів з крупними порами. У теоретичних моделях повітропроникності [19, 24] міжниткові проміжки в структурі тканин та трикотажу розглядають як трубки малого діаметру та малої довжини, крізь які проходить повітря. Із законів фізики відомо, що швидкість потоку збільшується від стінок до центру трубки. Тому, чим більша довжина стінок, що припадає на одиницю площі перерізу трубки, тим менша середня швидкість проходження потоку, і, відповідно, об'ємні витрати повітря.

А.В. Куліченко [19] з посиланням на роботу К. Шпершнайдера [22] підкреслює, що на показники повітропроникності текстильних матеріалів суттєво впливає аеродинамічне тертя на поверхні волокон та ниток, тому для коректної оцінки швидкості фільтрації повітря необхідно враховувати також площу поверхні ниток. Збільшення площі поверхні може відбуватись за рахунок використання комплексних ниток, багатофіламентних ниток, ниток з підвищеною ворсистістю, ниток з профільованим перерізом та ін. Використання платированих, плюшевих, футерованих переплетень також призводить до збільшення площі поверхні ниток, оскільки елементи структури утворюються з більш ніж однієї нитки. За рівних інших умов структура, утворена нитками з більшою площею поверхні, характеризується зниженням швидкості фільтрації (повітропроникності).

У дослідженнях, присвячених повітропроникності тканин полотен, зроблено важливі висновки [23] щодо різниці у значеннях повітропроникності тканин, які характеризуються однаковими показниками поверхневого заповнення. При однакових показниках поверхневого заповнення, тканини, що характеризуються більшою довжиною перекриття, мають більші показники повітропроникності. Найбільш відомі ткацькі переплетення з однаковим поверхневим заповненням можна розташувати у порядку зростання повітропроникності наступним чином: полотняне, саржеве, атласне, вафельне. Збільшення відстані між точками фіксації окремого сегменту пряжі у полотні збільшує вірогідність того, що під дією потоку повітря, вона може бути зміщена відносно положення, що займає у вільному стані, та відкрити шлях повітрю крізь міжниткові проміжки, що знаходились під нею.

Таким чином, можна сформулювати найбільш важливі геометричні характеристики структури трикотажу, які слід враховувати у ході теоретичного визначення повітропроникності – це поверхневе заповнення, розмір пор, шорсткість та площа поверхні ниток, довжина ділянок ниток між найближчими точками їх фіксації у полотні.

*Теплопровідність.* Здатність трикотажного одягу зберігати тепло та підтримувати термофізіологічний комфорт людини є важливою ергономічною характеристикою трикотажу. Теоретичні моделі теплопровідності трикотажу базуються на загальних законах термодинаміки та теорії тепло-масообміну, де розглядаються питання перенесення тепла та речовини у вологому матеріалі та поблизу його поверхні. Трикотаж можна розглядати як трьохфазну систему, що складається з остова-скелету (сукупність волокон пряжі), розділених між собою газом та вологою [25]. Такі системи відносять до дисперсних об'єктів, які є підмножиною гетерогенних об'єктів. Опис теоретичної моделі такої системи є складною науковою задачею. Часто у моделях оперують поняттям ефективної теплопровідності. Ефективна теплопровідність – це адекватна теплопровідність однорідного тіла, крізь яке за тих самих граничних умов та розмірів проходить той самий тепловий потік.

Серед основних факторів, що впливають на теплопровідність текстильних матеріалів та виробів з них, відмічають [24, 26] наступні фактори: теплофізичні – теплопровідність твердої речовини волокон і повітря, конвекція, теплове випромінювання; кліматичні – температура та відносна вологість повітря, швидкість руху повітря та тиск; структурні – сировинний склад матеріалу, його щільність, пористість, повітропроникність, товщина, рельєфність поверхні, форма поперечного перерізу волокон, просторова орієнтація волокон у матеріалі; конструктивні – тип і конструкція виробу, ступінь прилягання до фігури людини; статичний стан шарів пакета одягу (умови спокою людини), динамічний стан шарів пакета одягу (умови руху людини);

*Фактура поверхні.* Фактура текстильного матеріалу визначається особливостями геометрії його поверхні. Якщо з естетичної точки зору важливою є гарна фактура лицьової сторони трикотажного виробу, для комфортності виробів певних асортиментних груп набагато важливішим показником є рельєфність виворотної. Від того, які елементи структури трикотажу контактують з тілом людини (голкові та платинні дуги чи палички остовів), який розмір мають виступаючі ділянки нитки та яка її жорсткість, залежить наявність або відсутність подразнення шкіри під дією стискаючих зусиль, що чинить виріб у разі тривалого контакту. Фактуру поверхні слід віднести до ергономічних показників психофізіологічних властивостей текстильного матеріалу. Однак даний показник сенсорного комфорту пов'язаний з геометричними характеристиками будови трикотажу. Його необхідно брати до уваги як показник, що враховує фізіологічні потреби людини при проектуванні білизняних, панчішно-шкарпеткових, дитячих виробів різного призначення, шапок, а також шпитальних виробів та виробів для людей, що змушені тривалий час знаходитись без зміни положення тіла. Певне уявлення про комфортність фактури поверхні матеріалу можна скласти за допомогою таких показників як коефіцієнт тертя та коефіцієнт тангенційного опору, але вони не враховують, яке саме напруження витримує шкіра людини під дією шорсткої трикотажної поверхні з заданим рельєфом при тривалому знаходженні у фіксованому положенні за умови заданого рівня нормального тиску. Прикладом виробу, що не задовольняє вимогу щодо тактильного комфорту за фактурою внутрішньої поверхні може бути сукня, виготовлена з трикотажу переплетення гладь. Як відомо, структура гладі характеризується тим, що з виворітної сторони голкові та платинні дуги перекривають палички петель. Зі збільшенням діаметра нитки та її жорсткості зростає рельєфність внутрішньої поверхні трикотажного виробу. При тривалому сидінні на шкірі можуть залишитись досить чітко виражені відбитки рельєфної поверхні трикотажу. Таке подразнення шкіри рожевого кольору з часом проходить, але є небезпечним

для людей з порушенням опорно-рухового апарату. Аналогічним чином на лобі споживача можуть залишитись рожеві сліди від внутрішньої поверхні шапки чи підшоломника, якщо їх фактура є рельєфною, а розтяжність недостатня.

Тому фактура виворітної сторони трикотажного виробу є важливою характеристикою, що безпосередньо залежить від геометричних характеристик нитки, пров'язаної у трикотаж, та структури переплетення.

*Розтяжність трикотажу та тиск трикотажного виробу на тіло людини.* Розтяжність відноситься до групи показників ергономічності у розділі спеціалізованих показників якості для трикотажних та швейних виробів. Розтяжність трикотажного виробу характеризується величиною видовження окремих його ділянок під час розтягнення заданим зусиллям, меншим за розривальне [1]. Надзвичайно важливим є значення даного показника для забезпечення зручності та комфортності суцільнов'язаних виробів, окремі ділянки яких при вдяганні та зніманні підлягають деформації розтягу до двох і більше разів (наприклад, борт шкарпеток, горловина светра та ін.). Основи теорії деформування трикотажу закладено у роботах О.І. Далідовича [29], О.І. Коблякова [30], В.Н. Гарбарука [31], І.І. Шалова та Л.О. Кудрявіна [32], та ін. Розтяжність – це здатність еластичного виробу змінювати розміри під дією зовнішніх навантажень [33], після зняття яких виріб може повернутися до своїх початкових геометричних розмірів. Розтяжність характеризується значенням показника видовження у відсотках та визначається за ГОСТ 19712-89, причому значення розтяжності по вертикалі та горизонталі суттєво відрізняються. Це один з ключових ергономічних показників фізіологічного комфорту трикотажних виробів, який залежить від виду переплетення, параметрів режиму в'язання та властивостей ниток. У табл. 1 наведено показники розтяжності при розриві стрічкою для деяких видів кулірних переплетень, за даними роботи [17].

Таблиця 1

**Показники розтяжності трикотажу деяких видів кулірних переплетень**

| Вид переплетення | Вид сировини,<br>лінійна густина | Розтяжність полотна, % |           |
|------------------|----------------------------------|------------------------|-----------|
|                  |                                  | по довжині             | по ширині |
| гладь            | пряжа бавовняна, 18,3 текс×2     | 76,0                   | 165,0     |
| інтерлок         | пряжа бавовняна, 15,2 текс       | 81,6                   | 228,4     |
| лаастик          | пряжа бовняна, 31,2 текс×2       | 106,8                  | 385,8     |

Джерело: [17].

Питанням вивчення розтяжності трикотажу неповних подвійних кулірних переплетень, присвячено роботи [34; 35]. Здатність зберігати та відновлювати розміри та форму після деформування також відноситься до найбільш важливих показників якості та комфортності трикотажного одягу [17]. Для одягу, що щільно прилягає до тіла людини, актуальним є питання забезпечення оптимального рівня тиску одягу на тіло людини, який, з одного боку, повинен бути достатньо пружним, щоб не утворювати зморшок та заломів, а з іншого, не заважати свободі рухів та нормальному кровообігу.

Величина тиску трикотажного виробу прилеглої силуетної форми чи суцільнов'язаного заданої форми залежить від різниці між лінійними розмірами виробу і тіла та від пружних властивостей самого трикотажу. Так, трикотажні вироби з вмістом еластомерних ниток, що подаються як текстильні оболонки, забезпечують певний рівень тиску на тіло людини. У роботах В.Н. Філатова [36] розглянуто питання виготовлення еластичних трикотажних виробів, де тиск пружної текстильної оболонки на тіло людини враховано як розподілене зусилля, що залежить як від пружних властивостей матеріалу, так і від геометрії поверхні ділянки тіла. О.А. Вігеліна у роботі [13] зазначає, що багато споживачів стикаються з проблемою надлишкового тиску ділянки борту шкарпетки на тіло, що призводить до

порушення кровообігу та може викликати складні наслідки, у тому числі варикозну хворобу. За даними експертної оцінки, проведеної у роботі [13], найбільш вагомими показниками якості чоловічих шкарпеток є розтяжність ділянки борту, тиск ділянки борту на ногу, стійкість до стирання, сировинний склад. У залежності від тиску, який створює виріб на тіло людини у роботі [36] розрізняють 5 груп виробів з еластомерними нитками: комфортні (тиск від 666,5 до 1333 Па), профілактичні (1333–3332 Па), компенсаційні (3332–6665 Па), компресійні (6665–13330 Па) та спеціальні, значення тиску яких на ногу може перевищувати 13330 Па. Значення тиску, що не перевищують 10 мм. рт. ст. не впливають на циркуляцію крові, а підвищення тиску до 15–20 мм. рт. ст. викликає помітні порушення кровообігу у кінцівках [13]. О.Г. Андрєєва [34] із посиланням на роботи В.Н. Філатова підкреслює, що зазвичай для забезпечення комфортності одягу обирають еластичні полотна, розтяжність яких коливається у межах 15–30%. Оскільки тиск еластичного виробу на тіло залежить не тільки від властивостей матеріалу, але й від форми, або конфігурації поверхні тіла, автор називає сили, що виникають під дією текстильної оболонки, конфігураційними силами. У роботі Г.П. Старкової [38], присвяченій розробці методологічних основ проектування спортивного одягу з високоеластичних матеріалів, зазначено, що для проектування спортивного одягу з трикотажу найкращі результати дає метод І.І. Шалова [32], що передбачає визначення розмірів деталей шляхом перерахунку розмірних ознак фігури людини з урахуванням їх зміни під час динамічної зміни положення тіла та параметрів структури трикотажу у деформованому стані. У роботі [38] проведено дослідження зміни параметрів структури трикотажу з використанням морфологічного аналізу цифрових зображень, отриманих з деформованих структур. Максимальне експлуатаційне навантаження приймали не більше  $\delta = 0,7$  мН/текс. При цьому визначено, що експлуатаційне навантаження знаходиться у межах 12–19 Н. У роботі встановлено норми розтяжності трикотажу з вмістом еластанових волокон для окремих груп розтяжності. До першої групи відносять полотна з вмістом еластанових волокон, розтяжність яких складає від 40 до 80%, до другої – від 80 до 130, а третю групу складають полотна, розтяжність яких перевищує значення у 130%. Автор також звертає увагу на те [38], що під час інтенсивних занять спортом підвищується потовиділення та одяг починає вбирати вологу. Це впливає на деформаційні властивості трикотажу, адже різниця розтяжності у сухому та вологому стані становить 20–30%. Інформаційна база підсистеми розробки конструкції спортивного одягу, запропонована у роботі Г.П. Старкової [38], визначає вміст вихідної інформації, що включає наступні показники: тиск на тіло, відомості про геометричні прирости, геометричні та фізико-механічні властивості матеріалів. Н.В. Дроботун у роботі [39, с. 9] зазначає, що еластомерні нитки мають широкі межі швидкооборотної частки деформації розтягу, малий початковий модуль пружності – 0,2 МПа, розривальне видовження кілька сотень відсотків. Механізм деформування трикотажу внаслідок прикладання розтягуючих зусиль розглядається як процес порушення внутрішньої рівноваги системи петель, що об'єднує зміну внутрішньої конфігурації нитки, зігнутої у петлю, зміну орієнтації нитки, зміщення точок контакту ниток та видовження самої нитки. Навантаження, прикладене до трикотажу, розподіляється між окремими елементами структури нерівномірно. Ділянки нитки, більш орієнтовані у напрямку розтягу, сприймають більше навантаження, ніж інші.

Величина тиску виробу на певній ділянці, вкритій текстильною оболонкою, визначається, перш за все, двома ключовими факторами: жорсткістю матеріалу оболонки та ступенем деформації (різницею між периметром виробу на відповідній ділянці та периметром самої ділянки). Для теоретичного розрахунку тиску, що створює панчоха на ділянку тіла, апроксимовану елементарною циліндричною поверхнею, у роботі [39] запропоновано вираз (6), що описує тиск виробу на тіло,  $P$  як функцію від пружних властивостей цієї оболонки та радіусами оболонки та тіла.



$$P = G \cdot \left( \frac{1}{R_{st}} - \frac{1}{R_f} \right), \quad (6)$$

де  $R_{st}$  – радіус панчохи;  $R_f$  – радіус ноги;  $G$  – коефіцієнт пружності тангенційної деформації оболонки, що може бути знайдено як (7).

$$G = E \cdot h, \quad (7)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу панчохи, а  $h$  – товщина трикотажу.

І.О. Шеромова [40] розглядає 5 груп розтяжності високоеластичних матеріалів та надає значення усереднених базових границь звуження (табл. 2). У роботі запропоновано метод визначення розтяжності трикотажних полотен при навантаженнях менших за розривні, головною відмінністю якого є можливість визначення розтяжності при фіксованій ширині зразка, що відповідає умовам деформування еластичних виробів у процесі експлуатації. Навантаження на одиницю ширини зразка зберігається (1,2 Н/см). Але ширина зразка збільшується до 150 мм та вимірювання величини звуження виконується у середній зоні зразка.

Таблиця 2

**Класифікація високоеластичних матеріалів за групами розтяжності та величини рекомєнтованих (усереднених) базових границь звуження за І.О. Шеромовою**

| Група розтяжності | Розтяжність полотна $\epsilon$ , % | Інтервал базових границь звуження $K$ , % |
|-------------------|------------------------------------|---|
| 1                 | до 20                              | 12-14                                     |
| 2                 | понад 20 до 30                     | 20-22                                     |
| 3                 | понад 30 до 45                     | 27-29                                     |
| 4                 | понад 45 до 60                     | 34-36                                     |
| 5                 | понад 60                           | 40  |

Джерело: [40].

У процесі розтягування відбуваються такі трансформації внутрішньої будови трикотажу як розпрямлення ділянок нитки, орієнтованих у напрямку прикладання зусиль, перерозподіл нитки всередині елементів структури (перетягування ниток з одних ділянок у інші), зменшення закручуваності, зменшення телескопічного заходу, зменшення або ліквідація взаємного заходу суміжних петель різних шарів (для подвійних переплетень), змінання ниток у місцях їх переплетення (зменшення діаметрів), розтяг самої нитки. Для окремих видів трикотажу цей порядок може відрізнитися. Так, якщо трикотаж містить високорозтяжні нитки, то початок розтягу нитки співпадає з початком самого процесу розтягування. Трансформації, які відбуваються до початку перерозподілу ниток у елементах структури залежать від початкової кривизни ділянок нитки. Вони пов'язані з швидкооборотними деформаціями трикотажу, які в процесі експлуатації відбуваються найчастіше. Чим більша жорсткість нитки на згин, тим більшою буде її кривизна на ділянках між точками переплетення з іншими ділянками нитки. Для характеристики співвідношення між довжиною нитки в петлі та геометричними розмірами самої петлі використовують коефіцієнти уробляння по вертикалі  $U_B$  та горизонталі  $U_G$ .

$$U_G = \ell/A, \quad U_B = \ell/B,$$

де  $\ell$  – довжина нитки в петлі, мм;  
 $A$  – петельний крок, мм;  
 $B$  – висота петельного ряду, мм.

Збільшення цих показників зазвичай свідчить про збільшення запасу розтяжності, для трансформації геометрії нитки в петлі шляхом розпрямлення її окремих ділянок та зменшення телескопічного заходу.

**Висновок.** Аналіз наукових публікацій та нормативно-технічної документації показує, що серед великої кількості ергономічних показників якості на зручність та комфортність трикотажних виробів найбільш впливають властивості самого текстильного матеріалу, що забезпечують термофізіологічний та сенсорний (тактильний) комфорт, які можна віднести до гігієнічних та антропометричних показників. Геометричні характеристики внутрішньої будови трикотажу впливають на більшість ергономічних показників якості, що формують термофізіологічний комфорт трикотажних виробів з нього. Так, показники повітропроникності та теплопровідності залежать від того, яка частка об'єму матеріалу приходить на об'єм нитки, а яку частку займає повітря. Фактура внутрішньої поверхні трикотажу формується ділянками нитки, що виходять на виворотну сторону виробу, їх розташуванням, формою та розмірами. На розтяжність трикотажу у процесі експлуатації найбільше впливає величина розпрямлення окремих ділянок нитки, що залежить від структури переплетення, а саме кривизни нитки до початку деформування. Тому забезпечення точного геометричного опису конфігурації нитки в структурі трикотажу є одним з ключових моментів розробки програмних засобів, придатних для проектування трикотажних полотен та виробів з прогнозованими ергономічними властивостями, що забезпечують відчуття зручності, комфортності та найбільш повне задоволення антропометричних, психологічних та психофізіологічних потреб споживача.

**Подяка.** Робота виконувалась у рамках спільного українсько-литовського науково-дослідного проекту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім – PERPROKNIT)» за підтримки Міністерства освіти і науки України та Наукової ради Литви.

## References

1. DSTU 3998-2000 (2001). *Materialy ta vyroby tekstylni, trykotazhni, shveini ta shkiriani. Terminy ta vyznachennia* [Textile, knitted, sewing and leather materials and products. Terms and definitions]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
2. Suprun, N. P., Orlenko, L. V., Dregulyas, E. P., Volinets, T. O. (2008). *Konfektsiyuvannya materialiv dlya odyagu* [Confection of clothing materials: a textbook]. 2nd ed., rev. and suppl. Kyiv: Znannya. 246 p. [in Ukrainian].
3. Kilinc-Balci, F. S. (2011). Testing, analyzing and predicting the comfort properties of textiles. *Improving Comfort in Clothing*, P. 138–162. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.1.138>.
4. Das, A., Alagirusamy, R. (2011). Improving tactile comfort in fabrics and clothing. *Improving Comfort in Clothing*. P. 216–244. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.2.216>.
5. Strilets, A. S. (2018). *Doslidzhennia vplyvu osoblyvostej struktury tekstylnykh materialiv na komfortnist vyrobiv* [Research of influence of features of structure of textile materials on comfort of products]. Supervisor N. P. Suprun. *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi: tezy dopovidej XVII Vseukrains'koi naukovoї konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv* [Scientific developments of youth at the present stage: abstracts of the XVII All-Ukrainian

## Література

1. ДСТУ 3998-2000. *Матеріали та вироби текстильні, трикотажні, швейні та шкіряні. Терміни та визначення*. К.: Держстандарт України, 2001.
2. Супрун Н. П., Орленко Л. В., Дрегulyас Е. П., Волинець Т. О. *Конфекціювання матеріалів для одягу: навч. посіб. 2-е вид., переробл. і доповн.* К.: Знання, 2008. 246 с.
3. Kilinc-Balci F. S. Testing, analyzing and predicting the comfort properties of textiles. *Improving Comfort in Clothing*. 2011. P. 138–162. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.1.138>.
4. Das A., Alagirusamy R. Improving tactile comfort in fabrics and clothing. *Improving Comfort in Clothing*. 2011. P. 216–244. <https://doi.org/10.1533/9780857090645.2.216>.
5. Стрілець А. С. *Дослідження впливу особливостей структури текстильних матеріалів на комфортність виробів*. Наук. кер. Н. П. Супрун. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (26–27 квітня 2018 р., Київ)*. Київ: КНУТД, 2018. Т. 1. С. 280–281.

- scientific conference of young scientists and students (April 26–27, 2018, Kyiv)]. Kyiv: KNUTD. Vol. 1. P. 280–281 [in Ukrainian].
6. Arabuli, S. I., Suprun, N. P., Ocheretna, L., Arabuli, A. T. (2020). Doslidzhennia pokaznykiv sensohnoho komfortu tekstylnykh materialiv dlia likarnianoї postilnoi bilyzny [Research of indicators of sensory comfort of textile materials for hospital bed linen]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohij ta dyzajnu. Seriya Tekhnichni nauky*, No. 1 (142), P. 38–49 [in Ukrainian].
7. Iggo, A. (1988). Sensory receptors, cutaneous. In: *Sensory System II: Senses other than Vision*, Pro Scientia Viva, Boston, USA, P. 109–110.
8. Kawabata, S., Niwa, M. (1989). Fabric performance in clothing and clothing manufacture. *J. Text. Inst.*, 80, 19.
9. Dianich, M. M., Semak, B. D. (1983). Assortiment trikotazhnykh izdeliy iz smesi volokon [Assortment of knitwear made from fiber blend]. Kyiv: Tekhnika. 144 p. [in Russian].
10. Karpova, L. A. (2000). Optimizatsiya parametrov tekhnologicheskogo protsessa polucheniya trikotazha dlya odezhdy, otvchayushchego trebovaniyam komfortnosti v zadannykh usloviyakh [Optimization of the parameters of the technological process of obtaining knitwear for clothing that meets the requirements of comfort in the given conditions: dissertation of the candidate of technical sciences]. St. Petersburg [in Russian].
11. Rovinskaya, L. P. (1995). Metodika otsenki kachestva i prognozirovaniya svoystv trikotazhnykh poloten i izdeliy [Methodology for assessing the quality and predicting the properties of knitted fabrics and products: guidelines for students]. St. Petersburg: SPGUTD [in Russian].
12. Demokratova, E. B. (2006). Razrabotka metoda kompleksnoy otsenki i issledovanie gigienicheskikh pokazateley kachestva trikotazhnykh poloten [Development of a comprehensive assessment method and study of hygienic indicators of the quality of knitted fabrics: dissertation of the candidate of technical sciences]. Moscow. 224 p. [in Russian].
13. Vigelina, O. A. (2014). Povyshenie effektivnosti tekhnologii izgotovleniya chulochno-nosochnykh izdeliy s elastomernymi nityami [Improving the efficiency of technology for manufacturing hosiery with elastomeric threads: dissertation of the candidate of technical sciences]. St. Petersburg: SPbUTD. 140 p. [in Russian].
14. Kiryukhin, S. M., Dodonkin, Yu. V. (1986). Kachestvo tkaney [Quality of fabrics]. Moscow: Legprombyt-izdat. 160 p. [in Russian].
15. Chaykovskaya, A. E., Polishchuk, L. V., Galyk, I. S. et al. (1989). Kompleksnaya otsenka kachestva tekstilnykh materialov [Comprehensive assessment of the quality of textile materials]. Kyiv: Tekhnika. 254 p. [in Russian].
16. Gavrilova, N. I., Orlenko, L. V. (2002). Konfeksionirovanie materialov dlya odezhdy [Configuring Clothing Materials: A Tutorial]. Moscow [in Russian].
6. Арабулі С. І., Супрун Н. П., Очеретна Л., Арабулі А. Т. Дослідження показників сенсорного комфорту текстильних матеріалів для лікарняної постільної білизни. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2020. № 1 (142). С. 38–49.
7. Iggo A. Sensory receptors, cutaneous. In: *Sensory System II: Senses other than Vision*, Pro Scientia Viva, Boston, USA. 1988. P. 109–110.
8. Kawabata S., Niwa M. Fabric performance in clothing and clothing manufacture. *J. Text. Inst.* 1989. 80. 19.
9. Дианич М. М., Семак Б. Д. Ассортимент трикотажных изделий из смеси волокон. К.: Техника, 1983. 144 с.
10. Карпова Л.А. Оптимизация параметров технологического процесса получения трикотажа для одежды, отвечающего требованиям комфортности в заданных условиях: дисс. ... к.т.н. СПб., 2000.
11. Ровинская Л. П. Методика оценки качества и прогнозирования свойств трикотажных полотен и изделий: методические указания для студентов. СПб: СПГУТД, 1995.
12. Демократова Е. Б. Разработка метода комплексной оценки и исследование гигиенических показателей качества трикотажных полотен: дисс. ... к.т.н. М., 2006. 224 с.
13. Вигелина О. А. Повышение эффективности технологии изготовления чулочно-носочных изделий с эластомерными нитями: дисс... канд. техн. наук. СПбУТД. СПб., 2014. 140 с.
14. Кирюхин С. М., Додонкин Ю. В. Качество тканей. М.: Легпромбыт-издат, 1986. 160 с.
15. Чайковская А. Е., Полищук Л. В., Галык И. С. и др. Комплексная оценка качества текстильных материалов. К.: Техника, 1989. 254 с.
16. Гаврилова Н. И., Орленко Л. В. Конфекционирование материалов для одежды: учебное пособие. М., 2002.

17. Bazhenov, V. I., Babinets, S. V. (1971). Materialovedenie trikotazhno-shveynogo proizvodstva [Materials science of knitting and sewing production]. Moscow: Legkaya industriya. 304 p. [in Russian].
18. Kudryavin, L. A., Shalov, I. I. (1991). Osnovy tekhnologii trikotazhno proizvodstva [Fundamentals of knitwear production technology: a textbook for universities]. Moscow: Legprombytizdat. 496 p. [in Russian].
19. Kulichenko, A. V. (2005). Razrabotka modeley i eksperimentalnykh metodov izucheniya vozdukhopronitsaemosti tekstilnykh materialov [Development of models and experimental methods for studying the air permeability of textile materials: dissertation of Doctor of Technical Sciences]. St. Petersburg: SPGUTD. 439 p. [in Russian].
20. Arkhangel'skiy, N. A. (1960). Vozdukhopronitsaemost tkaney. Eksploatatsionnye svoystva tkaney i sovremennye metody ikh issledovaniya [Air permeability of fabrics. Operational properties of fabrics and modern methods of their research]. Moscow: Rostekhizdat. P. 376–413 [in Russian].
21. Vershinina, K. I. (1964). Issledovanie novykh fil'truyushchikh materialov dlya ochistki vozdukhа ot voloknistoy pyli v ustanovkakh konditsionirovaniya osnovnykh tekstilnykh proizvodstv [Investigation of new filter materials for air purification from fibrous dust in air conditioning units of the main textile industries: dissertation of the candidate of technical sciences]. Moscow: MTI [in Russian].
22. Sperschneider, K. (1973). Einsatzmoglichkeiten bekleidungshygienisch wichtiger textilephysicalischer Prüfverfahren im Industriezweig Trikotagen und Strumpfer. *Bekleidung und Maschenware*, Bd. 12, № 5, S. 199–205.
23. Kukin, G. N., Solovyev, A. N. (1967). Tekstilnoe materialovedenie [Textile materials science]. Moscow: Legkaya industriya. Part 3. 226 p. [in Russian].
24. Buzanov, G. B., Sukharev, M. I. (1974). K voprosu issledovaniya teplozashchitnykh svoystv tekstilnykh materialov i paketov iz nikh [On the study of the heat-shielding properties of textile materials and bags made of them]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*, Moscow: MTI, No. 4, P. 11–13 [in Russian].
25. Broyko, A. P. (2003). Razrabotka metoda prognozirovaniya teploprovodnosti trikotazhnykh poloten na osnove chislennogo modelirovaniya teploperedachi [Development of a method for predicting the thermal conductivity of knitted fabrics based on numerical simulation of heat transfer: dissertation of a candidate of technical sciences]. St. Petersburg. 331 p. [in Russian].
26. Buzanov, G. B., Sukharev, M. I. (1974). K voprosu issledovaniya teplozashchitnykh svoystv tekstilnykh materialov i paketov iz nikh [On the study of the heat-shielding properties of textile materials and bags made of them].
17. Баженов В. И., Бабинец С. В. Материаловедение трикотажно-швейного производства. М.: Лёгкая индустрия, 1971. 304 с.
18. Кудрявин Л. А., Шалов И. И. Основы технологии трикотажного производства: учеб. пособие для вузов. М.: Легпромбытиздат, 1991. 496 с.
19. Куличенко А. В. Разработка моделей и экспериментальных методов изучения воздухопроницаемости текстильных материалов: дис... докт. техн. наук. СПб.: СПГУТД, 2005. 439 с.
20. Архангельский Н.А. Воздухопроницаемость тканей. Эксплуатационные свойства тканей и современные методы их исследования. М.: Ростехиздат. 1960. С. 376-413.
21. Вершинина К. И. Исследование новых фильтрующих материалов для очистки воздуха от волокнистой пыли в установках кондиционирования основных текстильных производств: дис... к.т.н. М.: МТИ, 1964.
22. Sperschneider K. Einsatzmoglichkeiten bekleidungshygienisch wichtiger textilephysicalischer Prüfverfahren im Industriezweig Trikotagen und Strumpfer. *Bekleidung und Maschenware*. 1973. Bd. 12. № 5. S. 199–205.
23. Кукин Г. Н., Соловьёв А. Н. Текстильное материаловедение. М.: Лёгкая индустрия, 1967. Ч. 3. 226 с.
24. Бузанов Г. Б., Сухарев М. И. К вопросу исследования теплозащитных свойств текстильных материалов и пакетов из них. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. М.: МТИ, 1974. № 4. С. 11–13.
25. Бройко А. П. Разработка метода прогнозирования теплопроводности трикотажных полотен на основе численного моделирования теплопередачи: дисс... к.т.н. СПб., 2003. 331 с.
26. Бузанов Г. Б., Сухарев М. И. К вопросу исследования теплозащитных свойств текстильных материалов и пакетов из них. *Известия вузов. Технология текстильной*

- Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti.* Moscow: MTI. No. 5. P. 9–12 [in Russian].
27. Skrypnyk, Yu. O., Suprun, N. P., Shevchenko, K. L., Vahanov, O. A. (2009). Chastotno-polova otsinka komfortnosti odiahu [Frequency-field assessment of clothing comfort]. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design.* № 2 (46). С. 131–136 [in Ukrainian].
28. Xiao, X., Zeng, X., Long, A., Lin, H., Clifford, M., Saldaeva, E. (2012). An Analytical model for through-thickness permeability of woven fabric. *Textile Research Journal*, 82(5), P. 492–501.
29. Dalidovich, A. S. (1970). *Osnovy teorii vyazaniya* [Knitting Theory Basics]. Moscow: Legkaya industriya. 432 p. [in Russian].
30. Koblyakov, A. I. (1943). *Struktura i mekhanicheskie svoystva trikotazha* [Structure and mechanical properties of knitwear]. Moscow: Legkaya industriya. 240 p. [in Russian].
31. Garbaruk, V. N. (1977) *Modelirovanie deformatsionnykh svoystv trikotazha: uchebnoe posobie* [Modeling the deformation properties of knitwear: a tutorial]. Leningrad: Leningradskiy tekhnologicheskiy institut imeni Lensoвета. 128 p. [in Russian].
32. Shalov, I. I., Kudryavin, L. A. (1989). *Osnovy proektirovaniya trikotazhnogo proizvodstva s elementami SAPR* [Fundamentals of designing knitwear production with CAD elements: a textbook for universities]. 2nd ed., rev. and suppl. Moscow: Legprombytizdat. 288 p. [in Russian].
33. Torkunova, Z. A. (1985). *Ispytaniya trikotazha* [Knitwear tests]. 2nd ed., rev. Moscow: Legprombytizdat. 200 p. [in Russian].
34. Halavska, L. Ye. (2015). *Teoretychni aspekty vyznachennia roztyazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu* [Theoretical aspects of determining the stretch and twist of double incomplete knitwear]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, No. 2, P. 107–110 [in Ukrainian].
35. Halavska, L. Ye. (2015). *Doslidzhennia roztyazhnosti ta zakruchuvanosti podviinoho nepovnoho trykotazhu* [Study of stretch and twist of double incomplete knitwear]. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. No. 3. P. 80–85 [in Ukrainian].
36. Filatov, V. N. (1987). *Uprugie tekstilnye obolochki: monografiya* [Elastic textile casings: monograph]. Moscow: Legprombytizdat. 248 p. [in Russian].
37. Andreeva, E. G. (1997). *Metodologicheskie osnovy proektirovaniya odezhdy iz elastichnykh poloten* [Methodological foundations for designing clothes from elastic fabrics: dissertation of doctor of technical sciences]. Moscow. 473 p. [in Russian].
38. Starkova, G. P. (2004). *Metodologicheskie osnovy proektirovaniya sportivnoy odezhdy iz vysokoelastichnykh materialov* [Methodological foundations for designing sportswear from highly elastic materials: abstract of the промышленности. М.: МТИ, 1974. № 5. С. 9–12.
27. Скрипник Ю. О., Супрун Н. П., Шевченко К. Л., Ваганов О. А. Частотно-польова оцінка комфортності одягу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну.* 2009. № 2 (46). С. 131–136.
28. Xiao X., Zeng X., Long A., Lin H., Clifford M., Saldaeva E. An Analytical model for through-thickness permeability of woven fabric. *Textile Research Journal.* 2012. No. 82 (5). P. 492–501.
29. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия. 1970. 432 с.
30. Кобляков А. И. Структура и механические свойства трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1973. 240 с.
31. Гарбарук В. Н. Моделирование деформационных свойств трикотажа: учебное пособие. Ленинград: Ленинградский технологический институт имени Ленсовета, 1977. 128 с.
32. Шалов И. И., Кудрявин Л. А. Основы проектирования трикотажного производства с элементами САПР: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1989. 288 с.
33. Торкунова З. А. Испытания трикотажа. 2-е изд., перераб. М.: Легпромбытиздат, 1985. 200 с.
34. Галавська Л. Є. Теоретичні аспекти визначення розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* 2015. № 2. С. 107–110.
35. Галавська Л. Є. Дослідження розтяжності та закручуваності подвійного неповного трикотажу. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* 2015. № 3. С. 80–85.
36. Филатов В. Н. Упругие текстильные оболочки: монография. М.: Легпромбытиздат, 1987. 248 с.
37. Андреева Е. Г. Методологические основы проектирования одежды из эластичных полотен: дисс... докт. техн. наук: 05.19.04. М., 1997. 473 с.
38. Старкова Г. П. Методологические основы проектирования спортивной одежды из высокоэластичных материалов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.19.04. М., 2004. 52 с.

dissertation of doctor of technical sciences]. Moscow. 52 p. [in Russian].

39. Drobotun, N. V. (2009). Razrabotka metodov otsenki uprugogo-relaksatsionnykh svoystv vysokorastyazhimogo trikotazha i proektirovaniya meditsinskikh izdeliy kompressionnogo naznacheniya [Development of methods for assessing the elastic-relaxation properties of highly stretchable knitwear and designing medical devices for compression purposes: dissertation of a candidate of technical sciences]. St. Petersburg. 132 p. [in Russian].

40. Sheromova, I. A. (2009). Metodologicheskie osnovy optimizatsii podgotovki proizvodstva odezhdy iz legkodeformiruemyykh tekstilnykh materialov [Methodological foundations for optimizing the preparation of production of clothes from easily deformable textile materials: abstract of the dissertation of doctor of technical sciences]. Moscow. 51 p. [in Russian].

39. Дроботун Н. В. Разработка методов оценки упруго-релаксационных свойств высокоэластичного трикотажа и проектирования медицинских изделий компрессионного назначения: дисс... канд. техн. наук: 05.19.01. СПб., 2009. 132 с.

40. Шеромова И. А. Методологические основы оптимизации подготовки производства одежды из легкодеформируемых текстильных материалов: автореф. дис... докт. техн. наук. М., 2009. 51 с.

**YELINA TETIANA**

*Candidate of Technical Science, Associate Professor  
Department of Textile Technology and Design,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine*

<https://orcid.org/0000-0002-9310-0582>

*Scopus Author ID: 57203861122*

*E-mail: [yelina.tv@knutd.edu.ua](mailto:yelina.tv@knutd.edu.ua)*

**HALAVSKA LIUDMYLA**

*Doctor of Technical Science, Professor  
Department of Textile Technology and Design,  
Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine*

<https://orcid.org/0000-0002-6994-6641>

*Scopus Author ID: 57191413261*

*ResearcherID: O-1750-2018*

*E-mail: [galavska.ly@knutd.edu.ua](mailto:galavska.ly@knutd.edu.ua)*

**ЕЛИНА Т. В., ГАЛАВСКАЯ Л. Е.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина

**ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРИКОТАЖА И ИХ СВЯЗЬ  
С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Цель.** Целью данного исследования является анализ эргономических показателей качества трикотажа, формирующих ощущение термофизиологического комфорта человека и установление их связи с геометрическими характеристиками строения трикотажа для изучения возможностей прогнозирования комфортности с помощью систем автоматизированного проектирования.

**Методика.** В процессе исследования использовались методы теоретического анализа, основные положения теории вязания, теории тонких упругих оболочек, основные понятия механики и основы гидродинамики.

**Результаты.** Проведен теоретический анализ научных работ и нормативно-технической документации, посвященных различным аспектам определения и обеспечения на требуемом уровне эргономических показателей качества трикотажа, характеризующих уровень его удобства и комфорта. Выявлено, что большинство исследователей считают наиболее значимыми показателями воздухопроницаемости, паропроницаемости, термостойкости, гигроскопичности, электрического сопротивления, а также показателями жесткости и растяжимости, так как они больше всего влияют на способность трикотажа сохранять форму и соответствовать размерам человеческого тела.

В ходе анализа установлено, что показатели эргономичности трикотажа, которые формируют термофизиологический комфорт изделий из него, зависят от таких характеристик как диаметр нити; длина нити в петле; петельный шаг; высота петельного ряда; толщина трикотажа и другие. Теоретические модели механических и физических свойств трикотажа являются функциями

геометрических характеристик его структуры, поэтому от качества трехмерной геометрической модели нити, провязанной в трикотаж, зависит качество прогнозирования свойств трикотажа как текстильного материала с использованием современных программно-аналитических комплексов.

**Научная новизна.** В результате аналитического обзора научных публикаций и нормативно-технической документации определены показатели эргономичности трикотажа, которые формируют ощущение термофизиологического комфорта, и установлена их связь с геометрическими характеристиками строения трикотажа.

**Практическая значимость.** Проанализированы теоретические модели воздухопроницаемости, теплопроводности и растяжимости, опубликованные в научных изданиях, с точки зрения возможности их использования в качестве основы математического обеспечения системы автоматизированного проектирования трикотажной одежды.

**Ключевые слова:** трикотаж; эргономические показатели; термофизиологический комфорт; геометрические характеристики строения; воздухопроницаемость; теплопроводность; фактура поверхности; растяжимость.

**YELINA T. V., HALAVSKA L. YE**

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine  
**ERGONOMIC CHARACTERISTICS OF KNITWEAR  
DEPENDENT ON IT'S GEOMETRY**

**Purpose.** The purpose of this study is to analyze the ergonomic properties of knitwear, that form sense of thermophysiological comfort of a person and their connection with the geometric characteristics of the knitted structure to study the prospects of comfort predicting using computer-aided design systems.

**Methodology.** During the research methods of theoretical analysis, basics of the theory of knitting, theories of thin elastic shell, basic concepts of mechanics and the basics of hydrodynamics were used.

**Findings.** In the course of the work a theoretical analysis of scientific works and normative and technical documentation on various aspects of the definition and provision at the required level of ergonomic properties of knitwear that characterize the level of its convenience and comfort has been carried out. It was found that many researchers refer as most influencing the sense of comfort such properties as: air permeability, water vapour permeability, thermal resistance, hygroscopicity, electrical resistance, as well as stiffness and stretchability, that most affect the ability of knitwear to keep shape and fit the size of the human body.

It was found that all abovementioned knitwear properties depend on the geometric characteristics of the knitted structure, such as yarn diameter; the loop length; wale spacing; course spacing; the thickness of the knit and others. Theoretical models of mechanical and physical properties of knitwear are functions of the geometrical characteristics of its structure, therefore the quality prediction of physical behaviour of knitwear depends on the quality of the 3D geometric model of the yarn, knitted in the knit.

**Scientific novelty.** As a result of an analytical review of scientific publications and normative and technical documentation, the ergonomics of knitwear that form a feeling of thermophysiological comfort were determined, and their connection with the geometric characteristics of the knitwear structure was established.

**Practical value.** Theoretical models of air permeability, thermal conductivity and stretchability, published in scientific journals, from the point of view of the possibility of their use as the basis for mathematical support of the computer-aided design system of knitted clothing are analyzed.

**Keywords:** knitwear; ergonomic properties; thermophysiological comfort; geometric characteristics of the structure; air permeability; thermal conductivity; surface texture; stretchability.