

УДК 677.076

**КИЗИМЧУК О. П., НОВАК Д. С., РОМАНЕНКО М. В.,
ОВСІЄНКО Р. О.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**ТРИКОТАЖ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У ВИРОБАХ
СПЕЦІАЛЬНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Мета. Розробка та дослідження властивостей трикотажного полотна, яке можна застосувати для прокладання дротів та вбудованих датчиків у виробх різного функціонального призначення. Розробка «розумних» матеріалів та виробів з них сьогодні є актуальним та перспективним напрямом досліджень з огляду на створення нових видів матеріалів, інтеграцію в них струмопровідних елементів та розробку методів створення виробів, які здатні відчувати, реагувати і пристосовуватися до умов навколишнього середовища.

Методика. Для визначення параметрів структури та фізико-механічних властивостей полотна були використані експериментальні методи досліджень за стандартними методиками. Обробка результатів експерименту та побудова графіків і діаграм виконана за допомогою програми Microsoft Excel за середніми значеннями показників.

Результати. В результаті проведеної роботи створено зональне трикотажне полотно, яке за рахунок наявності в його структурі каналів придатне для монтування біометричних пакетів з метою моніторингу різноманітних показників, зокрема у підодяговому просторі. Результати проведених експериментальних досліджень параметрів структури та фізико-механічних властивостей трикотажу виявили вплив сировинного складу трикотажу та рапорту переплетення на досліджувані показники. Так, зі збільшенням кількості пропущених голок в неповному ластикі від 3 до 15 поверхнева густина полотна, яка визначає матеріалоємність виробів, зменшується в середньому на 15 %. Це також призводить до зменшення повної деформації полотна при розтягуванні як вздовж петельних рядів, так і вздовж петельних стовпчиків.

Наукова новизна. Розроблено структуру трикотажного полотна з вертикальними каналами для датчиків та сенсорів різного розміру та форми для виготовлення виробів, що застосовують для комплексного оцінювання тактико-технічних і фізичних властивостей функціональних елементів предметів речового майна військовослужбовців. Встановлено вплив рапорту комбінованого переплетення та сировинного складу трикотажу на розміри каналів та фізико-механічні властивості розробленого полотна.

Практична значимість. Розроблено трикотаж для функціонального виробу, що застосовують для комплексного оцінювання тактико-технічних і фізичних властивостей функціональних елементів предметів речового майна військовослужбовців. Результати досліджень дозволяють проектувати зональне полотно з розташуванням каналів заданих розмірів по його ширині.

Ключові слова: трикотаж з каналами, комбіноване переплетення, неповний ластик, вбудовані датчики.

Вступ. Зазвичай головними функціями, які виконує одяг та текстильні матеріали в цілому, є захисні та естетичні. Проте, зі швидкою зміною потреб сучасних споживачів, зростає третя функція – «інтелект», який інтегрується в тканини. Природний світ має різні моделі інтелектуальних структур. Науковці світу вже розробляють штучні «розумні структури», які можуть відчувати і реагувати на умови навколишнього середовища [1].

«Розумний» текстиль описують як злиття електроніки та текстилю у такі тканини, що здатні отримувати інформацію, робити обчислення та виконувати різноманітні дії. В основному, "розумний" текстиль - це текстиль, який здатний реагувати та адаптуватися до середовища за рахунок електричного, термічного, хімічного або магнітного джерела.

Оскільки можна підключити багато різних електронних систем до будь-якого одягу, система носіння такого текстилю стає більш універсальною, і користувач може змінювати свій зовнішній вигляд залежно від змін у навколишньому середовищі та індивідуальних уподобань. З точки зору розумного текстилю майбутні електронні системи описуються як невід'ємна частина нашого повсякденного одягу, які працюють як розумні персональні помічники.

Датчики забезпечують систему для виявлення сигналів, таким чином, в пасивному інтелектуальному матеріалі існування датчиків має важливе значення. Електроприводи впливають на виявлений сигнал або автономно, або з центрального блоку керування; разом з датчиками, вони є основним елементом активних інтелектуальних матеріалів. Зондування на базі тканин стало великою сферою досліджень в галузі біомедичної та охоронної діяльності. Вуглецеві електроди, інтегровані в тканини, можуть використовуватися для виявлення специфічних екологічних чи біомедичних характеристик, таких як кисень, солоність, вологість або забруднюючі речовини [2]. Активна функціональність може включати в себе виробництво або зберігання електроенергії, елементи інтерфейсу людини, радіочастотну функціональність або допоміжні технології.

Різновидом розумного текстилю є електронний (e-textile) - вид текстилю, що містить електроніку (включаючи невеликі комп'ютери), і в якому застосовують цифрові технології [3]. Важливою необхідністю розповсюдження переносної інформації для персоналізованої обробки мобільної інформації є те, що вона не повинна накладати ніяких додаткових соціальних, психологічних чи ергономічних навантажень на особу. Необхідна платформа, яка буде ненав'язливою, природною, поширеною та дозволить отримати багатofункціональні можливості. На додаток до того, що є самостійним одягом, платформа повинна вміти розміщувати або утримувати інші "носії" або датчики на місці; одночасно вона повинна забезпечувати шини даних або шляхи для передачі сигналів (і потужності) між датчиками та компонентами обробки інформації в сенсорній мережі [4].

З точки зору технічного виконання, текстильний матеріал (або одяг) є справжньою мета-рішенням, що діє як датчик самостійно і слугує платформою для включення додаткових датчиків і процесорів для використання інформаційних даних про ситуацію [5], зберігаючи при цьому естетичність та атрибути комфорту, серед багатьох інших текстильних унікальних властивостей

За останні десять років електроніка в текстилі зменшувалася у розмірах і збільшувалася у функціональності [6]. Ідея найдоступнішої системи полягає в тому, щоб прикріпити технологічні компоненти до тканин, в яких вкладені лінії передачі та з'єднувачі. Оскільки до будь-якого одягу можна підключити багато різних електронних пристроїв, система носіння стає більш універсальною, а останні досягнення з розробки нових матеріалів, текстильних технологій та мініатюрній електроніці роблять зручні системи більш надійними [7].

Головним завданням дослідників було і є на сьогодні – розробити шлях поєднання комп'ютерного керування з самими матеріалами або одягом з них. На початку в елементи одягу включали жорсткі та негнучкі елементи, які поєднувалися системою дротів, що призвело до значного збільшення ваги виробу та дискомфорту при використанні такої системи. Ключовими елементами для створення електронних текстильних виробів сьогодні є використанням електропровідних волокон або ниток, в яких сигнали можуть бути передані по всьому одягу та інші гнучкі сегменти, такі як датчики або комп'ютерні чіпи, які вбудовані в

одяг. Однак інтеграція провідникових ниток в структуру є складним процесом, який має забезпечити зручне використання електропровідної тканини [8].

Для одягу особливо важливими є такі властивості, як розтяжність, еластичність, драпірування тощо. З цієї причини тканини повинні мати невелику поверхневу густину (не більше 300 г/м²). Ці вимоги несумісні з текстильними матеріалами та структурами, необхідними для «розумної» електропровідності, тому що включення таких елементів, як металеві дроти в тканини, значно збільшує їх поверхневу густину і зменшує розтяжність

З іншого боку, тканини можуть мати структуру з кількох шарів і простору для розміщення електронних пристроїв. І в цьому напрямку альтернативою тканим структурам становлять трикотажні матеріали та суцільнов'язані вироби, які мають значні переваги виробництва.

У найближчому майбутньому, майже всі текстильні вироби, в тому числі ті, що ми носимо, трансформують у багатофункціональні, адаптивні та чутливі системи. Вони матимуть такі функції як комунікація, обчислення та розваги, а також охорона здоров'я та виявлення загроз. Текстиль також може виконувати функції спостереження та виявлення [9]. Як і в традиційних текстильних виробах, інтерактивний електронний текстиль знаходить широке застосування у модному та форменому одязі, дизайні інтер'єрів житлових та комерційних приміщень, у медичному та промисловому текстилі.

Отже розробка «розумних» матеріалів та виробів з них сьогодні є актуальним та перспективним напрямом досліджень з огляду на створення нових видів матеріалів, інтеграцію в них струмопровідних елементів та розробку методів створення виробів, які здатні відчувати, реагувати і пристосовуватися до умов навколишнього середовища. Отже розумний текстиль стає невід'ємною частиною життя людини, його розробляють для задоволення потреб у військовій сфері, охороні здоров'я, дослідження космосу, спорту і фітнесу.

Так, в Київському національному університеті технологій та дизайну, розробляють біометричні пакети (рис. 1) з метою комплексного оцінювання тактико-технічних і фізичних властивостей функціональних елементів предметів речового майна військовослужбовців. Для цього використано різні модифікації сенсорів, які необхідно вбудувати у відповідний виріб (рис. 2).



Рис. 1. Біометричний пакет

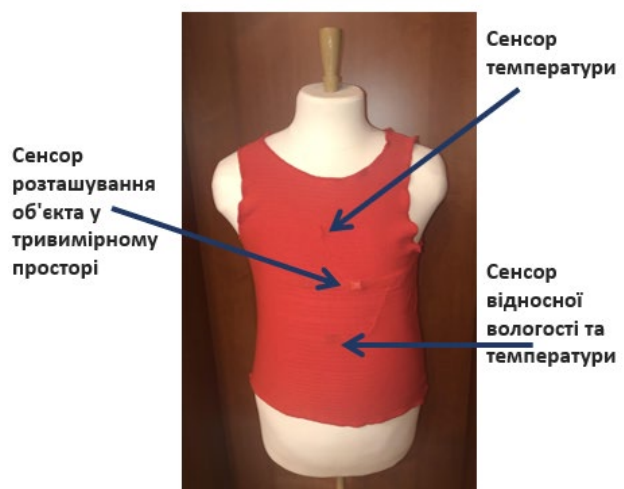


Рис. 2. Експериментальний зразок виробу з вбудованими сенсорами

Постановка завдання. Метою роботи постає розробка трикотажного полотна для оптимального зонально-диференційованого розміщення сенсорів, елементів живлення та передачі даних.

Переплетення є важливим чинником, який визначає будову та властивості трикотажу і, відповідно, функціональність виробу. Від виду переплетення залежить характер лицьового та виворітного боків полотна, поверхнева густина, міцність, розтяжність, пружність та інші властивості. При виборі переплетення необхідно враховувати призначення трикотажного полотна та сферу використання виробу.

При виготовленні виробів зі специфічними функціональними властивостями доцільніше використовувати комбіновані переплетення, оскільки вони надають безмежні можливості у комбінуванні різних класів переплетень та забезпечує необхідні показники трикотажу [10].

Так, авторами [0] розроблено структуру комбінованого трикотажу, в якому рапорт переплетення включає два ряди ластіку з бамбукової пряжі, вісім рядів гладі на одній стороні з вовняної пряжі та вісім рядів гладі на другій стороні з бамбукової пряжі в результаті чого утворюється порожниста трубка впоперек полотна. Залежно від призначення виробу трубки заповнюють різноманітним наповнювачем.

Для виготовлення трикотажного матеріалу, який застосовують для прокладання дротів для поєднання елементів електронної системи виробу, потрібно також створити в певних місцях його структури канали – порожнисті ділянки між лицьовою та виворітною сторонами трикотажу. На плосков'язальних машинах це можна забезпечити декількома способами [12].

Перший спосіб: чергування у рапорті рядів переплетення ластік, яке створює основу полотна, з рядами гладі на одній з голечниць, які створюють так званий валик, що і є горизонтальним каналом в структурі. Його розмір залежить від кількості рядів гладі, які пров'язують в рапорті. Другий спосіб: чергування рядів подвійної гладі (на обох голечницях), які створюють окремі шари полотна, та декількох рядів ластіку для з'єднання цих шарів. Спосіб дозволяє отримати горизонтальні канали різної ширини лише змінюючи кількість рядів подвійної гладі у рапорті. Третій спосіб: чергування в рапорті ряду гладі та ряду неповного ластіку великого рапорту, в результаті чого отримують вертикальні канали.

Авторами [12] встановлено, що третій спосіб простіший у виготовленні, адже може бути реалізований на переважній більшості плоско- та круглов'язальних машин, а трикотажне полотно з вертикальними каналами має кращі фізико-механічні властивості вздовж каналів. Отже для проектування полотна використано саме цей спосіб. Ширина каналів в даному випадку залежить, при інших рівних умовах (клас машини, лінійна густина та вид сировини, глибина кулірування, натяг ниток та сила відтягування полотна), від кількості пропущених голок k у неповному ластіку (рис. 3).

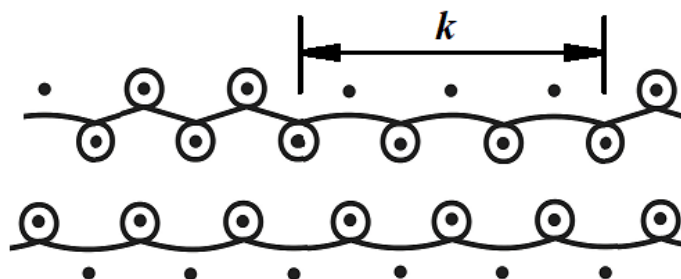


Рис. 3. Графічний запис переплетення з вертикальними каналами

Предметом дослідження даної роботи є трикотаж з вертикальними каналами в структурі, який застосовують для прокладання дротів та елементів електронної системи виробу. Для визначення впливу сировинного складу на властивості трикотажу виготовлено полотна різного сировинного складу (табл. 1). Ширину каналів змінювали за рахунок вимкнених підряд голок однієї фонтури (3, 7, 11 та 15). Для вироблення дослідних зразків полотна було обрано плоскофангову машину ПВК, яка встановлена у в'язальній лабораторії кафедри технології трикотажного виробництва КНУТД.

Таблиця 1

Варіанти заправок

Варіант заправки	Сировинний склад	Лінійна густина, текс
1	Бавовняна пряжа	29,1 текс x 2
2	Бавовняна пряжа Віскозна нитка	29,1 текс 33,3 текс
3	Бавовняна пряжа Поліамідна нитка	29,1 текс 29,0 текс
4	Поліакрилонітрильна пряжа	31,2 текс x 2

Результати досліджень. Для проведення досліджень усі зразки приведено в умовно-рівноважний стан шляхом прання та прасування без тиску. Усі дослідження показників структури полотна та фізико-механічних властивостей проводили в нормальних кліматичних умовах. Дослідження зсідання полотна проводили відповідно ГОСТ 13711-82. Дослідження структур трикотажу виконано відповідно до ГОСТ 8846-87, дослідження поверхневої густини полотна – відповідно до ГОСТ 8845-87, а товщини – за ГОСТ 12023-2003. Показники розтяжності при навантаженні, яке менше за розривне, визначали на підставі даних експерименту, який проведено на релаксометрі типу «стійка» відповідно до ГОСТ 8847-85.

Зміна лінійних розмірів трикотажу після мокрих обробок є одним з основних показників, який характеризує його якість. Дослідження показника проводили як вздовж петельних стовпчиків – вздовж каналів, так і вздовж петельних рядів – уперек каналу. В результаті чого встановлено, що зсідання трикотажу вздовж каналу (рис. 4.а) спостерігається у трикотажу, який містить бавовняну пряжу, в той час як у трикотажу з поліакрилонітрильної пряжі спостерігаємо притяжку – збільшення розмірів. Слід зазначити, що рапорт переплетення практично не впливає на показник, різниця в значеннях якого лежить в межах похибки досліду. Результати дослідження показали, що майже усі полотна після прання зменшують свої розміри уперек каналу (рис. 4.б), однак показник зменшується при збільшенні рапорту переплетення, тобто зі збільшенням кількості пропущених голок k в неповному ластику.

Найбільше зсідання спостерігається у трикотажу, який виготовлено з бавовняної пряжі (заправка 1) та поліакрилонітрильних ниток (заправка 2).

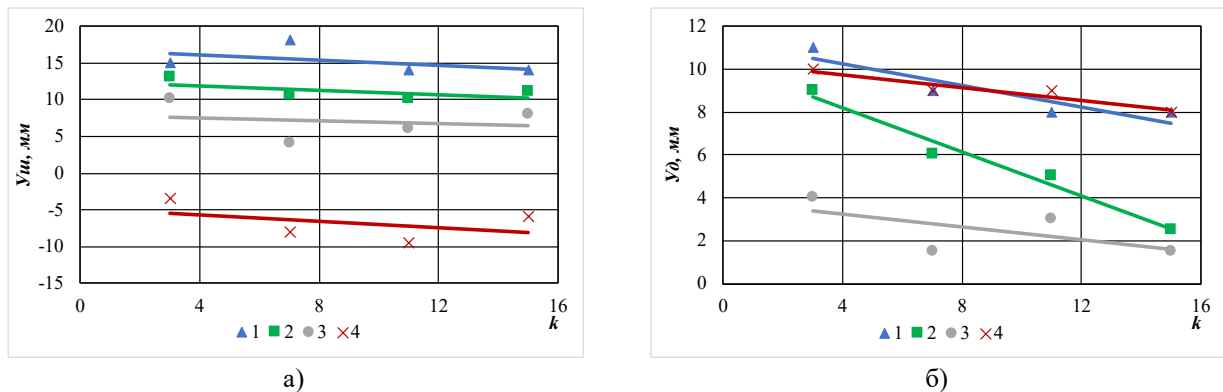


Рис. 4. Зсідання трикотажу: а - вздовж каналу; б - уперек каналу

Результати дослідження трикотажного полотна різного сировинного складу показують, що отримані зразки можуть бути співставлені за шириною отриманих каналів (рис. 5), яка зростає при збільшенні кількості пропущених голок k в неповному листику.

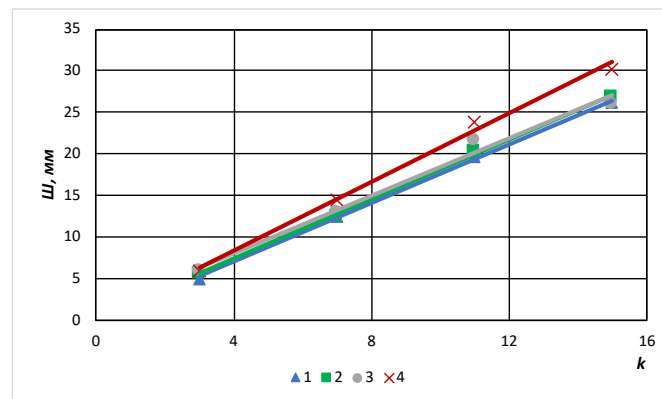


Рис. 5. Залежність ширини каналів від рапорту переплетення

Отримані прямолінійні залежності з високою точністю описують досліджуваний параметр і можуть бути представлені наступними математичними виразами:

для варіанту заправки 1-3 з бавовняною пряжею

$$Ш = 1.18 + 1.73 k ; \quad (1)$$

для варіанту заправки з поліакрилонітрильної пряжі

$$Ш = 0.16 + 2.06 k. \quad (2)$$

Отже, спостерігаємо вплив сировини на ширину каналів в трикотажі. Використання поліакрилонітрильної пряжі дозволяє отримати ширші канали при одному й тому самому рапорті переплетення в порівнянні з бавовняною пряжею. Пропоновані залежності дозволяють визначити рапорт розстановки голок для отримання зонального полотна для сенсорів різного розміру та конфігурації.

Довжина нитки в петлі - головний параметр, який, поряд з сировинним складом ниток та типом переплетення, визначає як параметри структури, так і фізико-механічні властивості трикотажу. Дослідження довжини нитки в петлях полотна з вертикальними каналами

проводили окремо для переплетень гладь та неповний ластик (рис.6). Встановлено вплив сировини на показник. Найменшу довжину нитки в петлі має полотно, яке виготовлено з бавовняної пряжі 29,1 текс та поліамідних ниток 29,0 текс (заправка 3), а найбільшу – полотно, яке виготовлено з поліакрилонітрильної пряжі 31,2 текс x 2 (заправка 4). Різниця в показниках становить біля 1 мм, тобто біля 15 %.

Очевидно, що для всіх варіантів заправки спостерігається залежність довжини нитки в петлі гладі від рапорту переплетення (рис.6.а): зі збільшенням кількості пропущених голок k в неповному ластикі від 3 до 15 довжина нитки в петлі збільшується в середньому на 1 мм. Довжина нитки в петлі неповного ластика трикотажу з бавовняної пряжі практично не залежить від рапорту (рис. 6.б), в той час як у полотна інших заправок показник зростає на 7÷11 % при збільшенні ширини каналу в межах досліджень.

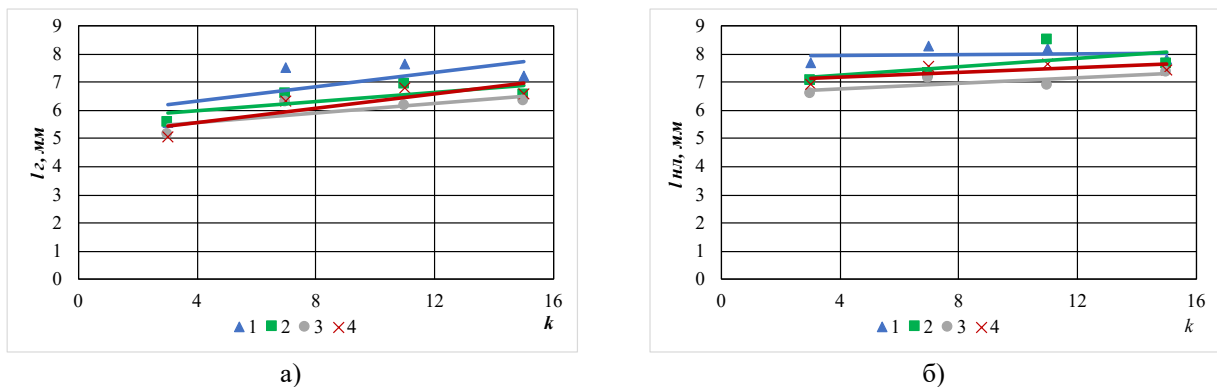


Рис. 6. Залежність довжини нитки в петлі від рапорту переплетення: а – гладь; б - неповний ластик

Поверхнева густина трикотажу (г/м^2) - це показник, який визначає матеріалоемність полотна і впливає на його властивості та сфери застосування. Графічне відображення залежності поверхневої густини від рапорту переплетення в полотнах різного сировинного складу представлено на рис. 7.

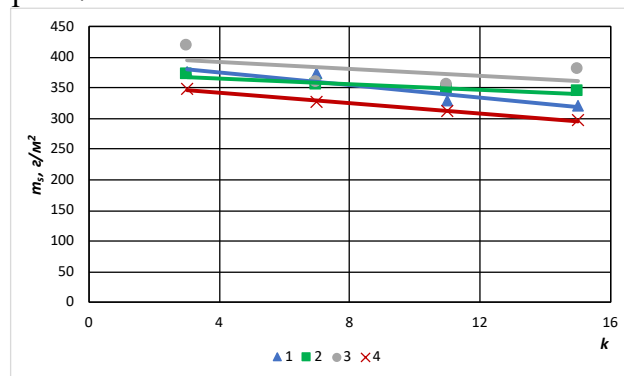


Рис. 7. Залежність поверхневої густини від рапорту переплетення

Очевидно, що для всіх варіантів заправки спостерігається залежність поверхневої густини від рапорту переплетення: зі збільшенням кількості пропущених голок k в неповному ластикі від 3 до 15 поверхнева густина полотна зменшується в середньому на 15 %. Найменшу поверхневу густину має полотно, яке виготовлено з поліакрилонітрильної пряжі 31,2 текс x 2 (заправка 4), а найвищу – полотно, яке виготовлено з бавовняної пряжі 29,1 текс та поліамідних ниток 29,0 текс (заправка 3).

Характеристики, які найбільше використовують для оцінки механічних властивостей текстильних матеріалів при одноциклових дослідженнях, є повна деформація і її складові частини. Результати розрахунків показників повної деформації та її складових трикотажу з вертикальними каналами різних варіантів заправки наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Складові повної деформації трикотажу

Заправка	Варіант полотна	Деформація, %				Частки деформації		
		повна ϵ	швидко-оборотна ϵ_1	повільно-оборотна ϵ_2	залишкова ϵ_3	Δ_1	Δ_2	Δ_3
Розтягування вздовж каналів								
Бавовняна пряжа	1-3	68	52	8	9	0,76	0,11	0,13
	1-7	66	50	11	5	0,76	0,16	0,08
	1-11	58	45	8	5	0,78	0,13	0,09
	1-15	62	48	7	7	0,77	0,12	0,11
Бавовняна пряжа Віскозна нитка	2-3	66	44	12	10	0,67	0,18	0,16
	2-7	61	42	10	9	0,70	0,16	0,14
	2-11	57	40	11	6	0,71	0,19	0,10
	2-15	50	35	10	5	0,70	0,20	0,10
Бавовняна пряжа Поліамідна нитка	3-3	51	36	8	7	0,71	0,15	0,14
	3-7	59	44	13	2	0,74	0,22	0,04
	3-11	50	39	10	1	0,77	0,20	0,03
	3-15	43	33	6	5	0,75	0,14	0,11
Поліакрилонітрильна пряжа	4-3	55	48	2	5	0,87	0,04	0,09
	4-7	49	37	6	6	0,76	0,11	0,13
	4-11	48	39	3	7	0,80	0,06	0,14
	4-15	48	38	5	5	0,79	0,10	0,11
Розтягування упоперек каналів								
Бавовняна пряжа	1-3	146	98	33	14	0,67	0,23	0,10
	1-7	128	92	21	16	0,71	0,16	0,12
	1-11	118	87	19	12	0,73	0,16	0,10
	1-15	108	83	12	14	0,76	0,11	0,13
Бавовняна пряжа Віскозна нитка	2-3	126	74	28	24	0,59	0,22	0,19
	2-7	107	61	27	18	0,58	0,26	0,17
	2-11	108	66	25	17	0,61	0,23	0,16
	2-15	76	47	16	13	0,61	0,21	0,17
Бавовняна пряжа Поліамідна нитка	3-3	91	63	24	4	0,69	0,26	0,04
	3-7	90	69	16	5	0,77	0,18	0,05
	3-11	91	65	19	8	0,71	0,20	0,09
	3-15	64	42	14	8	0,65	0,22	0,12
Поліакрилонітрильна пряжа	4-3	92	65	14	13	0,71	0,15	0,14
	4-7	79	53	12	14	0,67	0,16	0,17
	4-11	69	52	11	7	0,75	0,15	0,10
	4-15	58	48	3	7	0,82	0,06	0,12

Графічне відображення залежності повної деформації трикотажу вздовж та упоперек каналу від його ширини наведено на рис. 8. Отримані результати показують, що повна деформація трикотажу знижується зі збільшенням рапорту вимкнених голок у неповному ластику. Тенденція більш виражена при розтягуванні упоперек полотна (каналів). Встановлено вплив заправки на розтяжність полотна: найбільшу розтяжність в обох напрямках має трикотаж, який виготовлено з бавовняної пряжі, а найнижчу – трикотаж з поліакрилонітрильної пряжі.

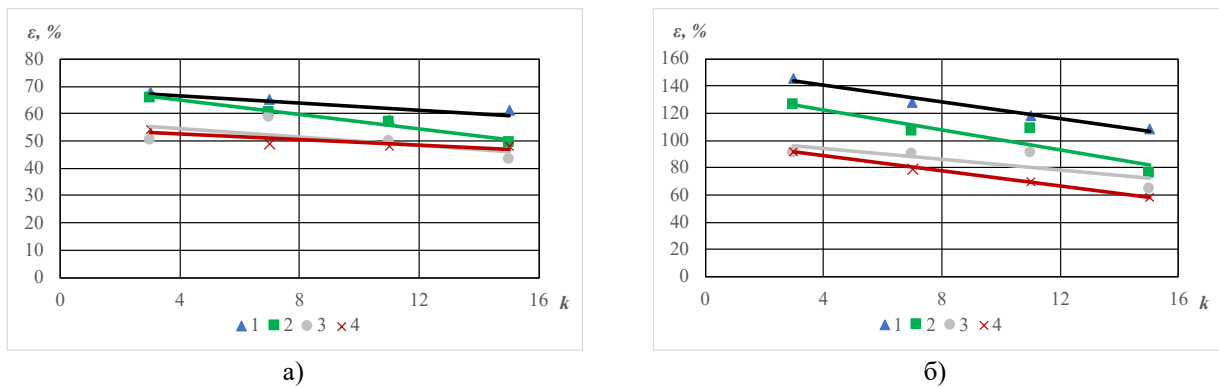


Рис. 8. Залежність повної деформації від рапорту неповного ластику: а - вздовж каналів; б - уперек каналів

Окрім фактичних значень повної деформації та її складових для характеристики механічних властивостей трикотажу важливе значення має співвідношення складових частин повної деформації. Частка швидкооборотної складової повної деформації залежить від варіанту заправки та ширини каналу і становить $0,6 \div 0,8$ при розтягуванні уперек каналу та $0,7 \div 0,9$ при розтягуванні вздовж каналу.

Залишкова деформація залежить також від варіанту заправки та напрямку розтягування. При розтягуванні вздовж каналу показник змінюється в межах $2 \div 10$ %, в той час як при розтягуванні уперек каналу у полотна перших двох заправок (бавовняна пряжа та комбінація бавовняної пряжі з віскозною ниткою) сягає $12 \div 20$ %. Найнижче значення залишкової деформації спостерігаємо у полотна третього варіанту заправки (бавовняна пряжа та поліамідна нитка): $1 \div 5$ % при розтягуванні вздовж каналу та $4 \div 8$ % при розтягуванні уперек каналу.

Висновки. У результаті досліджень параметрів структури та фізико-механічних властивостей трикотажу, який має вертикальні канали, встановлено залежності показників від рапорту переплетення та сировинного складу полотна, що повинно бути враховано при проектуванні функціональних виробів. Встановлені залежності ширини каналів від рапорту переплетення дозволяють проектувати зональне трикотажне полотно з каналами заданого розміру.

Подяка. Роботу виконано за підтримки МОН України в межах держбюджетної теми 16.04.61МВ ДБ «Розробка біометричних пакетів текстильних матеріалів та виробів для комплексного оцінювання тактико-технічних і фізичних властивостей речового майна військовослужбовців».

Література

1. Honarvar M. G. Overview of wearable electronics and smart textiles. / Mozhddeh Ghahremani Honarvar & Masoud Latifi // *The Journal of The Textile Institute*. – 2017, Volume 108, Issue 4. – P. 631-652. – DOI : 10.1080/00405000.2016.1177870.
2. Yetisen Ali K. Wearables in Medicine. / Ali K. Yetisen, Juan Leonardo Martinez-Hurtado, Baris, Ünal, Ali Khademhosseini, and Haider Butt // *Advanced Materials*. – 2018. – DOI: 10.1002/adma.201706910

References

1. Mozhddeh Ghahremani Honarvar & Masoud Latifi (2017) Overview of wearable electronics and smart textiles. *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 108, Is. 4, 631-652. DOI : 10.1080/00405000.2016.1177870.
2. Ali K. Yetisen, Juan Leonardo Martinez-Hurtado, Baris, Ünal, Ali Khademhosseini, and Haider Butt (2018) Wearables in Medicine. *Advanced Materials*.

3. Berzowska J. Electronic Textiles: Wearable Computers, Reactive Fashion, and Soft Computation / Joanna Berzowska // *TEXTILE*. – 2005, Vol.3:1. – P.58-75. DOI: 10.2752/147597505778052639.
4. Park S. The wearables revolution and Big Data: the textile lineage / Sungmee Park & Sundaresan Jayaraman // *The Journal of The Textile Institute*. – 2017, Volume 108, Issue 4. – P. 606-614. – DOI: 10.1080/00405000.2016.1176632.
5. Haghi M. Wearable Devices in Medical Internet of Things: Scientific Research and Commercially Available Devices / Mostafa Haghi, Kerstin Thurow, Regina Stoll // *Healthcare Informatics Research*. – 2017. Vol. 23(1). – P. 4-15. – DOI: 10.4258/hir.2017.23.1.4
6. Liu Y. Flexible, Stretchable Sensors for Wearable Health Monitoring: Sensing Mechanisms, Materials, Fabrication Strategies and Features / Yan Liu, Hai Wang, Wei Zhao, Min Zhang, Hongbo Qin and Yongqiang Xie // *Sensors*. – 2018, 18(2), 645. – DOI: 10.3390/s18020645.
7. Gandhi Dhaval. E-Textiles Technology / D. Gandhi, D. Gadodia, S. Kadam, H. Narula // *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* – Oct 2014, Volume 16, Number 8. – P.373-376.
8. Stoppa M. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review / Matteo Stoppa and Alessandro Chiolerio // *Sensors*. – 2014, Vol. 14. – P. 11957-11992
9. Ghosh T. Electronic textiles and their potential. / T. Ghosh. A. Dhawan // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. – March, 2006, Vol. 31.– P. 170-176.
10. Король В. П. Основи теорії в'язання візерункового трикотажу : підручник / В. П. Король, Л. Є. Галавська. – К. : Кафедра, 2014. – 498 с.
11. Дзикович Т. А. Розробка трикотажних виробів спеціального призначення / Т. А. Дзикович, І. С. Мінтус // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2017, № 1 (245). – С. 64-67.
12. Kyzymchuk O. Knitted fabric as a part of smart system / Olena Kyzyznchuk, Inna Yermolenko // *Book of Proceedings 2018 IEEE Ukraine Student, Young Professional and Women in Engineering Congress (UKRSYW)*. – October 2 – 6, 2018, Kyiv, Ukraine – P. 40-43.
- DOI: 10.1002/adma.201706910
3. Berzowska J. (2005) Electronic Textiles: Wearable Computers, Reactive Fashion, and Soft Computation. *Textile*, Vol.3:1, 58-75. DOI: 10.2752/147597505778052639.
4. Sungmee Park & Sundaresan Jayaraman (2017) The wearables revolution and Big Data: the textile lineage. *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 108, Is. 4, 606-614. DOI: 10.1080/00405000.2016.1176632.
5. Mostafa Haghi, Kerstin Thurow, Regina Stoll (2017) Wearable Devices in Medical Internet of Things: Scientific Research and Commercially Available Devices. *Healthcare Informatics Research*, Vol. 23(1). P. 4-15. DOI: 10.4258/hir.2017.23.1.4
6. Yan Liu, Hai Wang, Wei Zhao, Min Zhang, Hongbo Qin and Yongqiang Xie (2018) Stretchable Sensors for Wearable Health Monitoring: Sensing Mechanisms, Materials, Fabrication Strategies and Features. *Sensors*, 18(2), 645. DOI: 10.3390/s18020645.
7. D. Gandhi, D. Gadodia, S. Kadam, H. Narula (2014) E-Textiles Technology. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Vol. 16, Is. 8, 373-376.
8. Matteo Stoppa and Alessandro Chiolerio (2014) Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. *Sensors*, Vol. 14, 11957-11992.
9. T. Ghosh & A. Dhawan (2006) Electronic textiles and their potential. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, Vol. 31, 170-176.
10. V. P. Korol & L. Ye. Halavska (2014) Osnovy teoriy v'iazannia vizerunkovogo trykotaju [Fundamentals of theory of patterned knitting]. Kyiv : Kafedra [In Ukrainian].
11. Dzykovych T. A. & Myntus I. S. (2017) Rozrobka trykotazhnykh vyrobiv specialnogo pryznachennya [Development of Special Knitwear]. *Herald of Khmelnytsky National University*, № 1 (245), 64-67 [In Ukrainian].
12. Kyzymchuk O., Yermolenko I. (2018) Knitted fabric as a part of smart system. *Book of Proceedings 2018 IEEE Ukraine Student, Young Professional and Women in Engineering Congress (October 2 – 6)*, Kyiv, Ukraine, pp. 40-43.

ROMANENKO MARIA

m_romanenko98@ukr.net
Kyiv National University of Technologies & Design

OVSIIENKO RUSLANA

ovsienko99lana@gmail.com
Kyiv National University of Technologies & Design

KYZYMCHUK OLENA
kyzymchuk.o@knutd.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8874-8931>
Scopus ID <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36140680600>
Researcher ID:
<https://publons.com/researcher/2144356/olena-kyzymchuk/>
Kyiv National University of Technologies & Design

NOVAK DMYTRO
novak.knutd@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1796-8857>
Scopus ID <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191836492>
Researcher ID:
<https://publons.com/researcher/2174638/dmitriy-s-novak/>
Kyiv National University of Technologies & Design

ТРИКОТАЖ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИЗДЕЛИЯХ СПЕЦИАЛЬНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ КИЗИМЧУК Е. П., НОВАК Д. С., РОМАНЕНКО М. В., ОВСИЕНКО Р. О.

Київський національний університет технологій і дизайну

Цель. Разработка и исследование свойств трикотажного полотна, которое можно применить для прокладывания проводов и встроенных датчиков в изделиях различного функционального назначения. Разработка «умных» материалов и изделий из них сегодня является актуальным и перспективным направлением исследований с учетом создания новых видов материалов, интеграцию в них токопроводящих элементов и разработку методов разработки изделий, которые способны чувствовать, реагировать и приспосабливаться к условиям окружающей среды.

Методика. Для определения параметров структуры и физико-механических свойств полотна были использованы экспериментальные методы исследований по стандартным методикам. Обработка результатов эксперимента и построение графиков и диаграмм выполнена с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты. В результате проведенной работы создано зональное трикотажное полотно, которое за счет наличия в его структуре каналов пригодно для монтирования биометрических пакетов с целью мониторинга различных показателей, в частности в пододежном пространстве. В результате проведенных экспериментальных исследований параметров структуры и физико-механических свойств трикотажа выявлено влияние сырьевого состава трикотажа и рапорта переплетения на исследуемые показатели. Так, с увеличением количества пропущенных игл в неполном ластике от 3 до 15 поверхностная плотность полотна, которая определяет материалоемкость изделий, уменьшается в среднем на 15%. Это также приводит к уменьшению полной деформации полотна при растяжении как вдоль петельных рядов, так и вдоль петельных столбиков.

Научная новизна. Разработана структура трикотажного полотна с вертикальными каналами для датчиков и сенсоров различного размера и формы для изготовления функциональных изделий, применяемых для комплексной оценки тактико-технических и физических свойств функциональных элементов предметов вещевого имущества военнослужащих. В процессе исследования выявлено влияние рапорта комбинированного переплетения и состава трикотажа на размеры каналов и физико-механические свойства полотна

Практическая значимость. Разработано трикотажное полотно для функциональных изделий, применяемых для комплексной оценки тактико-технических и физических свойств функциональных элементов предметов вещевого имущества военнослужащих. Результаты исследований позволяют проектировать зональное полотно с расположением каналов заданных размеров по его ширине.

Ключевые слова. трикотаж с каналами, комбинированное переплетение, неполный ластик, встроенные датчики.

**KNITTED MATERIALS FOR SPECIAL FUNCTIONAL CLOTHES
KYZYMCHUK O., NOVAK D., ROMANENKO M., OVSIENKO R.**

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. *The development of “smart” materials and products from them is a relevant and promising research area today. It is taking into account the creation of new materials, the integration of conductive elements into them and the development of methods for creating a product which is able to feel, react and adapt to the environment. The goal of this work is the development of knitted fabric, which can be used for laying wires and embedded sensors in functional items for various purposes as well as the study of their properties.*

Methodology. *Experimental research methods according to the standards were used to determine the structural parameters and the physical-mechanical properties of the knitted fabrics. The processing of the experimental results the graphs and charts creation was performed by Microsoft Excel on the average values of the indicators.*

Results. *As a result of this work, a zonal knitted fabric with slots in its structure was created, which is suitable for biometric packages incorporation in order to monitor various indicators, in the space under the clothes in particular. The influence of the raw components of the knitted fabric and the interloping repeat on the structural parameters and the physical-mechanical properties of knitted material has been revealed as results of experimental studies. Thus, the surface density of the fabric, which determines the material consumption of products, decreases by 15% average with an increase of the number of missed needles from 3 to 15 in an incomplete rib. It also leads to a decrease in the total deformation under the tension of the knitted fabric with the vertical slots, both coursewise and walewise.*

Scientific novelty. *The knitted fabric structure with vertical slots for sensors of various sizes and shapes for the manufacture of the functional items used for the integrated assessment of tactical, technical and physical properties of the functional elements of military clothes has been developed.*

Practical value. *It was determined that a repeat of the combined interlooping, as well as a raw materials composition, affect the width of the slots, that allows designing a zonal fabric with the slots of a given size along its width.*

Keywords. *Knit with slots, combined interlooping, incomplete rib, built-in sensors*