

УДК 677.
055.32:
677.017:
677.075

¹ДМИТРИК О. М., ¹ГАЛАВСЬКА Л. Є., ²ХАРЧЕНКО Ю. М.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²АДВЛ «ТЕКСТИЛЬ-ТЕСТ», Київ, Україна

ВПЛИВ ТИПУ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПОКАЗНИКИ СТІЙКОСТІ ТРИКОТАЖНОГО МАТЕРІАЛУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК ДО ДІЇ МЕХАНІЧНИХ УШКОДЖЕНЬ (ПРОКОЛ СТЕРЖНЕМ ТА ПРОДАВЛЮВАННЯ КУЛЬКОЮ)

Мета. Дослідити вплив особливостей процесу формування на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) трикотажного матеріалу переплетення кулірна гладь з ниток підвищеної міцності на характеристики його стійкості до дії механічних ушкоджень (прокол стержнем, продавлювання кулькою).

Методика. Для визначення характеристик стійкості трикотажних матеріалів до проколу стержнем та продавлювання кулькою використано існуючі стандартизовані методи досліджень. Дослідження стійкості до проколу стержнем та продавлювання кулькою виконано на розривній машині КТ-7010AZ. Шляхом реалізації активного однофакторного експерименту встановлено вплив зміни глибини кулірування на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до проколу та продавлювання кулькою у відповідності до обраного типу плосков'язального обладнання. Для обробки експериментальних даних та побудови графіків і діаграм використано інструменти програми Microsoft Excel.

Результати. Шляхом реалізації експериментальних досліджень виявлено фактори, що впливають на стійкість розроблених зразків трикотажних матеріалів до проколу стержнем та продавлювання кулькою, а саме: вид високоміцних ниток, тип плосков'язального обладнання, глибина кулірування. Вищий рівень стійкості до досліджуваних показників механічних ушкоджень демонструють трикотажні матеріали, вироблені на плосков'язальному обладнанні без платин. При цьому встановити межу міцності трикотажного матеріалу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток, до продавлювання кулькою не вдалося, оскільки напруга перевищувала 5000Н, шкала вимірювань розривної машини складає 5000Н. Проаналізовано характер деформації дослідних зразків під впливом зусилля стержня та кульки. Проколу та продавлюванню передують руйнування окремої нитки в структурі трикотажного матеріалу. Але у випадку використання пара-арамідних ниток одразу внаслідок розриву нитки відбувається розпук петель і руйнування цілісності структури.

Наукова новизна. Встановлено, що на величину опору трикотажного матеріалу проколюванню стержнем та продавлюванню кулькою впливає не лише обраний вид високоміцних ниток та щільність в'язання, а й наявність платин на в'язальному обладнанні у процесі петлетворення.

Практична значимість. Математичні залежності, одержані у ході реалізації активного однофакторного експерименту, дозволяють розрахувати величину опору проколюванню й продавлюванню кулькою та обрати раціональні параметри виготовлення (вид високоміцних ниток, тип плосков'язального обладнання, глибину кулірування) у відповідності до необхідного рівня стійкості трикотажного матеріалу до досліджуваних показників механічних ушкоджень.

Ключові слова: пара-арамідна нитка; високомолекулярна поліетиленова нитка; високоміцний трикотажний матеріал; переплетення гладь; прокол стержнем; продавлювання кулькою.

Вступ. Створюючи трикотажні матеріали з сировини підвищеної міцності для їх подальшого використання у якості складових елементів засобів індивідуального захисту, текстильних матеріалів для спеціального одягу робітників промислових професій та захисного одягу спортсменів, у першу чергу потрібно розуміти який рівень захисту вони забезпечуватимуть. На стійкість текстильного матеріалу до дії механічних ушкоджень впливає ціла низка факторів. У першу чергу – це вид сировини, з якого його вироблено, структура

переплетення та параметри його в'язання. Однак, на структурні характеристики трикотажного матеріалу впливає також і тип плосков'язального обладнання, а саме наявність або відсутність платин у процесі формування петель. Саме цей фактор обумовлює різну будову петель [1, 2] і, як наслідок, призводитиме до різного характеру руйнування трикотажного матеріалу під дією механічних ушкоджень.

Виходячи з того, що на сьогодні високоміцні нитки широко використовуються у найрізноманітніших сферах, зокрема у виробах технічного призначення, засобах індивідуального захисту від експлуатаційних характеристик яких залежить життя та здоров'я людини, увага науковців прикута до дослідження факторів, що впливають на міцнісні характеристики даних видів сировини [3–5].

Робота [6] присвячена дослідженню стійкості до проколу та прорізування трикотажних матеріалів різних переплетень. Авторами розроблено нові структури, які мають однакову поверхню лицьової та виворітної сторін. На основі даних структур з використанням пара-арамідних ниток з обробкою та без на плосков'язальному обладнанні виготовлено трикотажні матеріали та здійснено порівняльний аналіз з трикотажем переплетень гладь та плюшеве. За умови однакової поверхневої густини та товщини трикотажних матеріалів запропоновані нові структури продемонстрували кращу стійкість до прорізування та проколу, особливо у разі обробки поверхні пара-арамідних ниток. У роботі не ставилося за мету з'ясувати вплив зміни щільності в'язання на досліджувані характеристики трикотажного матеріалу з обраного виду високоміцних ниток.

Робота [7] присвячена дослідженню стійкості трикотажних полотен із введенням у структуру ґрунту утокової нитки до механічних ризиків в залежності від вмісту базальтової сировини у структурі текстильного матеріалу. Авторами вивчено характер впливу введення у структуру зовнішнього шару трикотажного матеріалу базальтової нитки на показники його стійкості до прорізування, проколу та розриву. Виявлено, що найвищої стійкості до проколу досягнуто у трикотажних структурах з найвищим вмістом високомолекулярного поліетилену, а збільшення вмісту базальтової сировини у трикотажній структурі не сприяло покращенню зазначеного показника.

Авторами іншої роботи [8] досліджено стійкість трикотажного матеріалу переплетення гладь з високомолекулярної поліетиленової нитки та з введенням у структуру у вигляді футерної додаткової еластомерної нитки до зусилля проколу та величину його деформації під впливом стержня. Встановлено, що збільшення довжини нитки в петлі обумовлює більшу пористість структури, що і призводить до зменшення кількості відрізків ниток, які опираються зусиллю проколу. Однак, у роботі використано лише один вид високоміцних ниток, що не дає можливості співставити одержані результати.

Робота [9] присвячена дослідженню впливу виду сировини шарів двошарового трикотажного матеріалу та структури переплетення шару, до якого прикладене перфоруюче зусилля. Однак досліджуваний трикотажний матеріал вироблений подвійним переплетенням на двофонтурному обладнанні без платин, що не дає можливості оцінити стійкість до проколу одношарової структури, виробленої з високомолекулярних поліетиленових чи пара-арамідних ниток.

Авторами іншої роботи [10] досліджено стійкість до проколу розробленого трикотажного ауксетик-матеріалу з введеними у структуру утоковими нитками, що розташовані ромбоподібно. Вивчено вплив швидкості руху пуансона на стійкість до проколу одержаного ауксетик-матеріалу та виготовленого за тих самих умов трикотажного матеріалу без введення у структуру еластомерної нитки з тією ж довжиною нитки в петлі. Результати показують, що ауксетичний утоковий трикотаж має вище пікове навантаження та здатність до поглинання енергії при квазістатичному навантаженні. Результати також показують, що

квазістатичний опір удару аукзетичного трикотажного полотна посилюється зі збільшенням швидкості проколу, але мало змінюється після того, як швидкість проколу досягає певного значення (50 мм/хв).

Робота [11] присвячена дослідженню опору проколюванню та продавлюванню кулькою одношарових трикотажних матеріалів, виготовлених з поліетиленових та пара-арамідних ниток, та двошарових пакетів матеріалів у поєднанні з шаром трикотажу з мета-арамідних ниток. У випадку проколу стержнем найвищі результати опору демонструють двошарові пакети трикотажних матеріалів, при продавлюванні кулькою – трикотажні матеріали, вироблені з використанням поліетиленових ниток.

У роботі [12] висвітлено результати досліджень опору продавлюванню кулькою трикотажного матеріалу переплетення кулірна гладь з поліестерових ниток. Автори роботи акцентують увагу, що на величину опору продавлюванню та видовження трикотажного матеріалу до моменту його руйнування має наявність дефектів петельної структури.

Постановка завдання. Аналіз наукових праць за напрямом дослідження дозволяє стверджувати, що питання розробки трикотажних матеріалів з високоміцних ниток та дослідження факторів, що впливають на їх стійкість до проколювання, наразі є актуальними та залишаються у полі зору дослідників. При цьому вплив типу в'язального обладнання (з платинами або без) на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії механічних ушкоджень вивчено недостатньо. Тому доцільним є проведення досліджень саме у цьому напрямку з метою визначення раціональних параметрів в'язання трикотажних матеріалів з високоміцних ниток, стійких до дії механічних впливів.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктом є процес перфорації трикотажних матеріалів, вироблених з високомолекулярної поліетиленової (UHMWPE, pE) та пара-арамідної (pA) ниток на двох типах плосков'язального обладнання 8 класу: без платин типу плоскофангового напів-автомату ПВРК та з використанням платин типу плосков'язального рукавичкового автомату ПА-8-33 (РА).

У якості вхідного параметра для реалізації активного експерименту обрано глибину кулірування, яка змінювалася на п'яти рівнях у заданому діапазоні [2]. Для плоскофангового напів-автомату типу ПВРК із загальним зусиллям відтягування полотна глибина кулірування для UHMWPE нитки складала від 3,2÷3,56 мм, для pA нитки – 3,09÷3,45 мм з кроком 0,1 мм. У разі виготовлення дослідних зразків на плосков'язальному автоматі з платинами типу рукавичковий автомат (РА) ПА-8-33 глибина кулірування складала для UHMWPE нитки 3,55÷3,95 мм, для pA нитки – 3,4÷3,8 мм з кроком 0,9 мм. Характеристика дослідних зразків трикотажних матеріалів наведена у попередній роботі [2].

Дослідження опору продавлюванню кулькою та проколу стержнем попередньо вироблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток на двох типах в'язального обладнання (з платинами та без) [2] виконано згідно відповідних стандартизованих методик [13, 14] в акредитованій лабораторії КНУТД АДВЛ «Текстиль-ТЕСТ».

Показники стійкості до продавлювання кулькою та проколу стержнем встановлено з використанням сучасної розривної машини моделі КТ-7010AZ (рис. 1, 2). Метод випробування стійкості трикотажного матеріалу до продавлювання кулькою та проколу стержнем передбачає підготовку випробувального зразка круглої форми діаметром 70 мм, який закріплюється у спеціальному пристрої в нижньому нерухомому затискачі лицьовою поверхнею назовні.

У верхньому рухомому затискачі закріплюється сталеві кулька діаметром 25 мм, яка рухається вниз зі сталою швидкістю 100 мм/хв до руйнування трикотажного матеріалу. Перед початком дослідження кулька повинна знаходитися у центрі проби та торкатися його поверхні [14].



Рис. 1. Універсальна тестова машина
Kao Tieh моделі KT-7010AZ



Рис. 2. Фото використаних інструментів

Для випробування стійкості матеріалу до проколу згідно стандартизованої методики EN 388-2019 [13], кульку замінюють на металевий стержень прямокутної форми з гранню 4,5 мм з затупленим краєм та глибиною проколу 25 мм. Аналогічно стержень має бути розташований у центрі проби. Рух стержня відбувається з постійною швидкістю 500 мм/хв у вертикальному напрямку вниз до наскрізної перфорації. Опір, який чинить текстильний матеріал до повної перфорації, вимірюється в Ньютонах й визначає його стійкість до проколювання. Максимальна прикладена до випробувального зразка сила вимірювання, яку може забезпечити використана розривна машина становить до 5000Н.

Результати досліджень Для встановлення з використанням методу регресійного аналізу з довірчою ймовірністю 95% [15] однофакторних математичних залежностей, що описують вплив щільності в'язання на досліджувані показники (опір продавлюванню кулькою та проколюванню стержнем), виконано по п'ять повторних випробувань для кожного з п'яти рівнів вхідного параметра.

Результати дослідження стійкості до продавлювання кулькою.

У відповідності до [16] на сьогодні метод продавлювання кулькою використовують для виявлення характеру деформації та міцності волокон гнучкої шкіри або готової поверхні верху взуття до моменту руйнування. Вибір даного методу для дослідження трикотажних матеріалів обумовлено використанням для їх виготовлення високоміцних ниток та необхідністю вивчення характеру деформації петельної структури під дією перфоруючого зусилля кульки.

На рис. 3 представлено графіки деформації та моменту руйнування під дією зусилля продавлювання кулькою структури трикотажних матеріалів, вироблених при мінімальному рівні глибини кулірування.

Слід зазначити, що на момент досягнення максимально можливого на розривній машині KT-7010AZ зусилля навантаження (5000Н) структура зразка, виготовленого з UHMWPE нитки на обладнанні без платин типу ПВРК при максимальній щільності в'язання не зруйнувалася (рис. 3а). Усі інші дослідні зразки досягнули моменту руйнування структури внаслідок прикладеного відповідного зусилля продавлювання кулькою.

На рис. 4 представлено фото моменту продавлювання трикотажного матеріалу кулькою, які наглядно ілюструють характер руйнування проби у випадку використання UHMWPE та pA ниток. З рис. 4 видно, що внаслідок зусилля продавлювання, кулька пройшовши наскрізь, зруйнувавши структуру зразка з UHMWPE нитки, а у випадку використання pA нитки відбулося руйнування нитки однієї петлі, що спричинило розпуск петель в петельних стовпчиках під дією зусилля кульки.

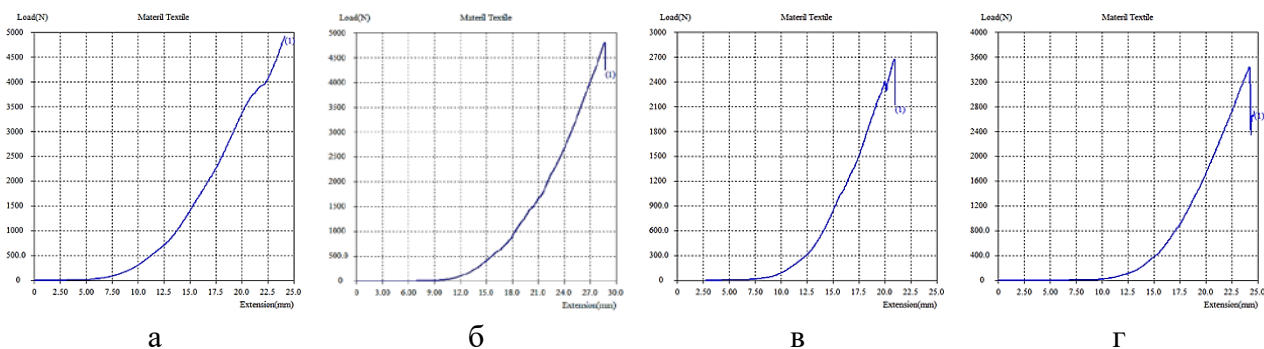


Рис. 3. Графіки опору продавлюванню кулькою трикотажних матеріалів, виготовлених при мінімальному рівні глибини кулірування: з UHMWPE нитки: а) без платин (типу ПВРК); б) з платинами (типу РА); з рА нитки: в) без платин (типу ПВРК); г) з платинами (типу РА)



Рис. 4. Фото моменту продавлювання кулькою трикотажних матеріалів, вироблених на РА

Одержані характеристики опору продавлюванню кулькою досліджуваних зразків трикотажних матеріалів для кожного з типів в'язального обладнання та рівня щільності в'язання наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики опору продавлюванню кулькою дослідних зразків трикотажних матеріалів

№ зразка	Тип в'язального обладнання											
	без платин типу ПВРК						з платинами типу РА					
	рівень глибини кулірування, мм		опір продавлюванню кулькою, Н		величина деформації, мм		рівень глибини кулірування, мм		опір продавлюванню кулькою, Н		величина деформації, мм	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,20	3,09	Більше 5000	3153,62 ±272,39	20,0	11,9	3,55	3,40	4748,96 ±101,41	3504,90 ±196,13	25,7	15,4
2	3,29	3,18		3249,80 ±176,40	—	12,5	3,65	3,50	4825,82 ±65,67	3550,18 ±127,01	25,8	16,1
3	3,38	3,27		3468,60 ±201,72	—	14,1	3,75	3,60	4702,84 ±75,10	3473,78 ±145,24	25,4	17,8
4	3,47	3,36		3369,50 ±176,40	—	15,8	3,85	3,70	4589,00 ±65,67	3433,60 ±127,01	25,1	18,6
5	3,56	3,45		3324,74 ±272,39	21,6	16,7	3,95	3,80	4390,62 ±101,41	3398,10 ±196,13	25,7	19,5

Шляхом обробки експериментальних даних щодо опору продавлюванню кулькою та величини деформації одержано математичні залежності другого порядку, на підставі яких побудовано відповідні графіки, наведені на рис. 5. Як видно з графіків, представлених на рис. 5, залежність опору продавлюванню кулькою від глибини кулірування описується моделлю другого порядку та має вигляд параболи. Дослідити величину зусилля руйнування зразків трикотажних матеріалів, виготовлених на обладнанні без платин (типу ПВРК) з *UHMWPE* ниток, стало неможливим через характеристики розривального обладнання. Шкала вимірювань розривної машини КТ-7010AZ передбачає величину не більше 5000 Ньютон, а дослідні зразки не дійшли піку навантаження, внаслідок чого цей факт автоматично робить їх найстійкішими. Зразки, виготовлені з *pA* ниток демонструють різке збільшення сили опору при 3 рівні глибини кулірування $h_k = 3,27$ мм, після чого відбувається спадання.

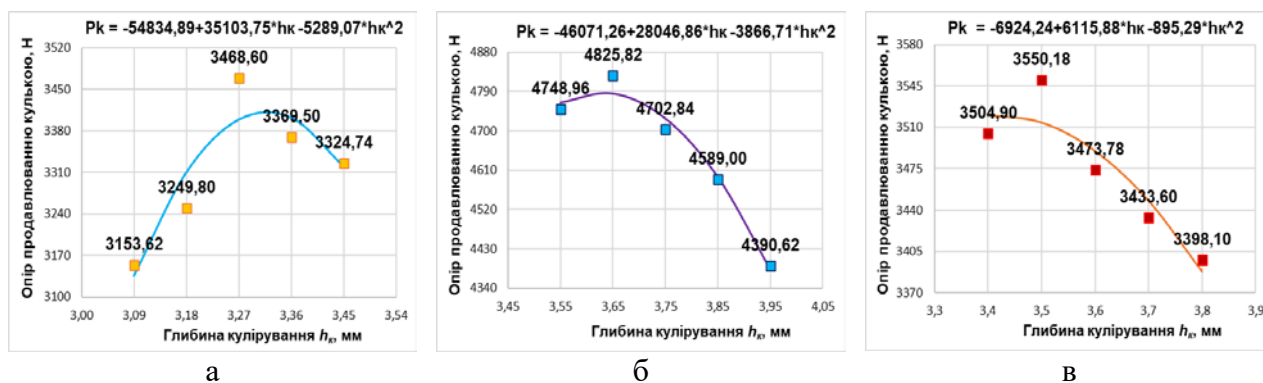


Рис. 5. Графіки залежності величини зусилля продавлювання кулькою від зміни щільності в'язання:
з *UHMWPE* нитки: а) з платинами РА;
з *pA* нитки: б) без платин ПВРК; в) з платинами РА

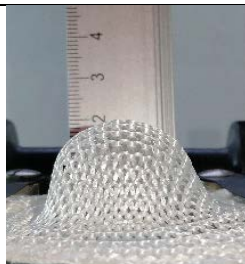
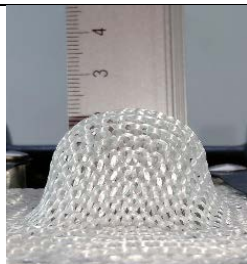
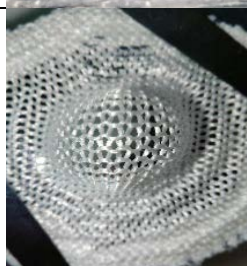
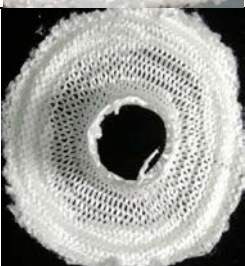
Такий результат пояснюється тим, що структура трикотажного матеріалу, виготовленого без участі платин, має зигзагоподібну будову петель з орієнтацією нитки в петлі у напрямку петельних стовпчиків. Під дією зусилля продавлювання кулькою відбувається незначний перерозподіл нитки з голкових та платинних дуг у палички петель та швидке руйнування прямолінійного відрізка нитки, що чинить опір й зупинка обладнання. Зі збільшенням глибини кулірування збільшується наскрізна пористість структури трикотажного матеріалу та зменшення кількості відрізків ниток, що опираються продавлюванню. Це і призводить до зменшення його стійкості до продавлювання кулькою.

У разі виготовлення дослідних зразків трикотажних матеріалів на обладнанні з платинами (типу РА) максимальний опір продавлюванню кулькою спостерігається при 2 рівні глибини кулірування незалежно від виду сировини, після чого зі зменшенням щільності в'язання відбувається зменшення стійкості петельної структури до зусилля продавлюванню кулькою. Подальше зменшення стійкості трикотажного матеріалу до продавлювання кулькою можна пояснити зменшенням кількості прямолінійних відрізків ниток, які припадають на площу поверхні кульки та чинять опір прикладеному зусиллю продавлювання.

І хоча нам не вдалося досягнути руйнування петельної структури трикотажного матеріалу, виготовленого без використання платин (типу ПВРК) з *UHMWPE* ниток, одержані результати формують уявлення про характер деформації петель в структурі переплетення під дією зусилля продавлювання кулькою. У таблиці 2 представлено фото дослідних зразків з двох типів плосков'язального обладнання (з платинами та без) при мінімальному та максимальному рівні глибини кулірування, що демонструють характер деформації під дією руйнуючого зусилля кульки.

Таблиця 2

**Характер деформації зразків трикотажних матеріалів під дією
зусилля продавлювання кулькою**

Тип плосков'язального обладнання			
без платин типу ПВРК		з платинами типу РА	
з UHMWPE нитки			
Рівень глибини кулірування			
1		5	
			
			

У таблиці 3 представлено фотографії, що демонструють характер руйнування структури трикотажного матеріалу для кожного з п'яти рівнів глибини кулірування під дією кульки. Дослідження характеру деформації дослідних зразків під дією зусилля продавлювання кулькою дозволяють зробити висновок, що у разі використання UHMWPE ниток спостерігається наскрізне руйнування проби під дією зусилля продавлювання кулькою, тоді як у зразках з РА ниток руйнування деформованої під впливом сили продавлювання кульки трикотажної структури обумовлене руйнуванням нитки найбільш напруженої петлі та розпуском петель вздовж петельного стовпчика.

На підставі встановлених значень величини деформації трикотажної структури під дією зусилля продавлювання кулькою побудовано відповідні графіки (рис. 6).

Виявлено, що у випадку використання UHMWPE нитки тип в'язального обладнання та щільність в'язання немає суттєвого впливу (рис. 6а). У разі виготовлення трикотажного матеріалу з РА ниток, зменшення щільності в'язання призводить до збільшення величини деформації структури на момент руйнування проби: для зразків з машини ПВРК – на 26,6%; для РА – на 40,3% (рис. 6б), що обумовлено фізико-механічними властивостями та поведінкою РА ниток в структурі трикотажу під дією зусилля продавлювання кулькою.

Результати дослідження стійкості до проколювання стержнем.

На рис. 7 представлено графіки руйнування структури трикотажного матеріалу при мінімальному рівні глибини кулірування, де наглядно можна спостерігати процес руйнування дослідного зразка під дією перфорируючого зусилля. Так, незважаючи на тип в'язального обладнання, діаграми «навантаження-видовження» зразків з UHMWPE ниток після досягнення максимального опору мають стрибок напруги внаслідок руйнування витягнутого одинарного відрізка нитки (рис. 7а,б). При руйнуванні зразків з РА ниток (рис. 7в,г) стрибка напруги не виявлено, що обумовлено характеристиками високоміцної сировини. Дану відмінність можна побачити на фотографіях, представлених на рис. 8.

Таблиця 3

**Характер деформації зразків трикотажних матеріалів
під дією зусилля продавлювання кулькою**

Зразки, вироблені на обладнанні без платин типу ПВРК з рА нитки				
Рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5
Зразки, вироблені на обладнанні з платинами типу РА з UHMWPE нитки				
Рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5
Зразки, вироблені на обладнанні з платинами типу РА з рА нитки				
Рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5

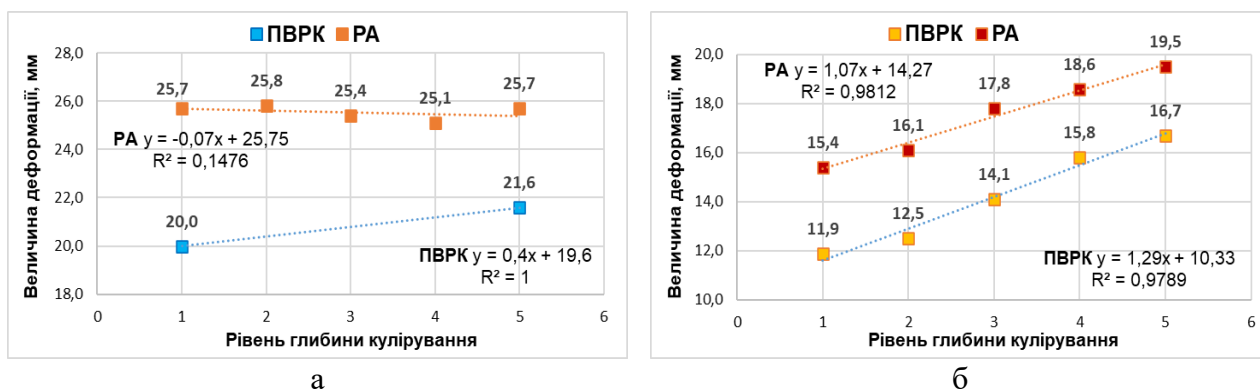


Рис. 6. Величина деформації зразків під дією зусилля продавлювання кулькою:
а) з UHMWPE нитки; б) з рА нитки

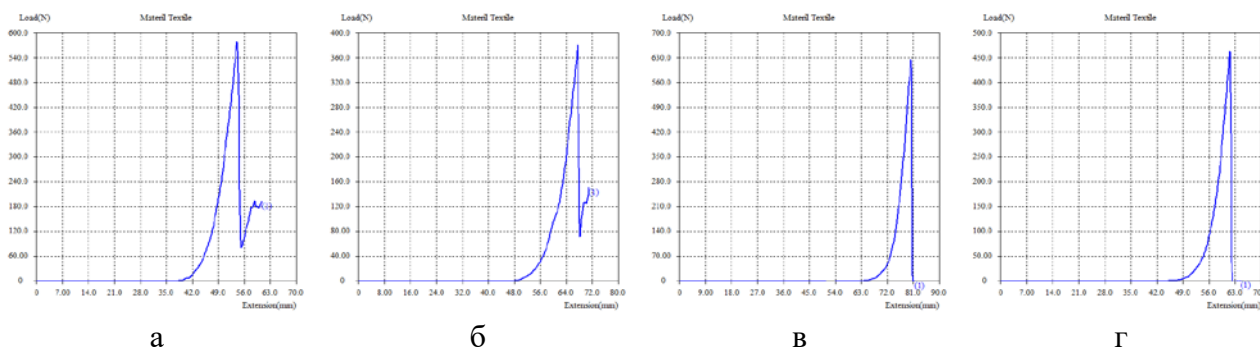


Рис. 7. Графіки опору проколу стержнем трикотажних матеріалів, виготовлених при мінімальному рівні глибини кулірування:
з UHMWPE нитки: а) без платин (типу ПВРК); б) з платинами (типу РА);
з рА нитки: в) без платин (типу ПВРК); г) з платинами (типу РА)



Рис. 8. Фото моменту проколу стержнем трикотажних матеріалів, вироблених на РА

Характеристики стійкості до проколу досліджуваних зразків трикотажних матеріалів для кожного типу плосков'язального обладнання, виду надміцної сировини та рівня глибини кулірування наведено у таблиці 4.

Шляхом реалізації активного однофакторного експерименту на підставі одержаних результатів випробувань встановлено відповідні регресійні математичні залежності, що описують вплив щільності в'язання на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до проколу стержнем. У відповідності до даних регресійних залежностей побудовано відповідні графіки, які наглядно ілюструють вплив щільності в'язання на стійкість до проколу (рис. 9).

Таблиця 4

Характеристики опору проколу стержнем дослідних зразків трикотажних матеріалів

№ зразка	Тип плосков'язального обладнання											
	без платин типу ПВРК						з платинами типу РА					
	рівень глибини кулірування, мм		прокол стержнем, Н		величина деформації, мм		рівень глибини кулірування, мм		прокол стержнем, Н		величина деформації, мм	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,20	3,09	473,00 ±30,65	551,94 ±83,46	12,3	3,0	3,55	3,40	382,26 ±17,73	478,50 ±67,49	21,2	5,0
2	3,29	3,18	438,42 ±21,67	507,10 ±45,38	13,2	3,4	3,65	3,50	349,76 ±12,53	465,00 ±37,31	22,1	5,0
3	3,38	3,27	422,76 ±17,70	477,84 ±20,59	15,7	4,0	3,75	3,60	326,56 ±10,23	435,90 ±18,37	21,9	5,0
4	3,47	3,36	408,10 ±21,67	447,22 ±45,38	16,7	4,8	3,85	3,70	307,90 ±12,53	406,72 ±37,31	23,4	5,0
5	3,56	3,45	394,82 ±30,65	430,44 ±83,46	17,0	5,0	3,95	3,80	290,68 ±17,73	369,12 ±67,49	23,8	5,0

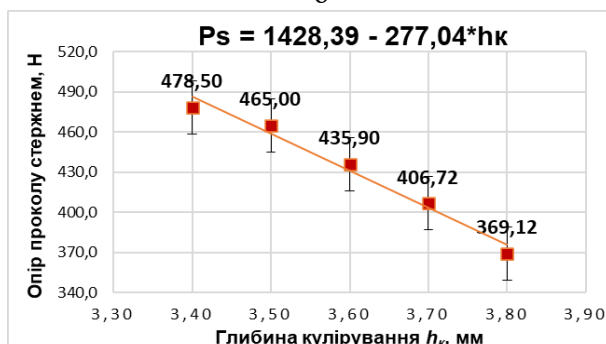
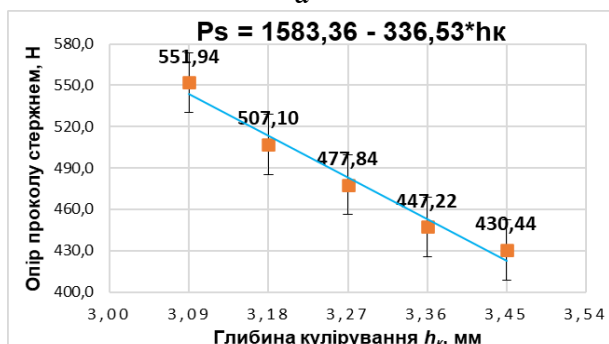
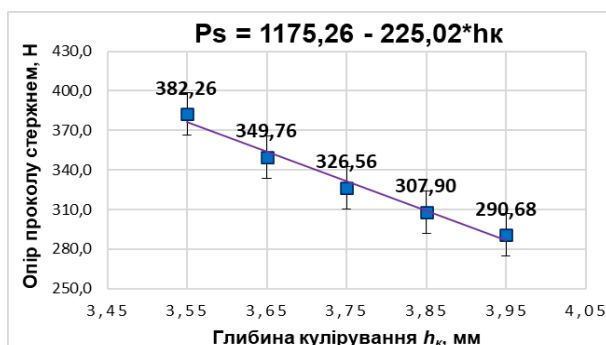
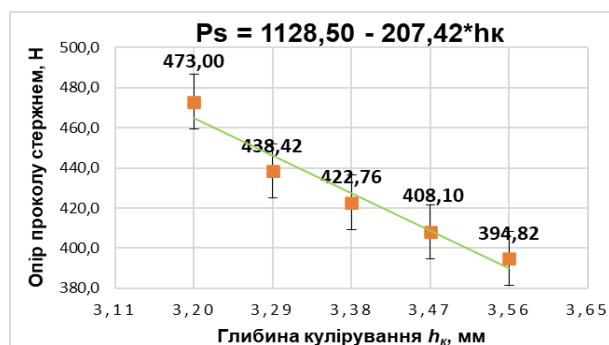


Рис. 9. Графіки залежності зусилля проколу стержнем від зміни щільності в'язання: з UHMWPE нитки: а) без платин ПВРК; б) з платинами РА; з pA нитки: в) без платин ПВРК; г) з платинами РА

Наведені на рис. 9 графіки наглядно ілюструють, що зі зменшенні щільності в'язання трикотажу зусилля проколу стержнем, яке витримують дослідні зразки трикотажу, незалежно від виду високоміцних ниток, наявності чи відсутності платин при формуванні петель спадає та описується лінійною залежністю. Це можна пояснити тим, що зменшення щільності в'язання призводить до збільшення наскрізної пористості петельної структури та зменшенню

кількості прямолінійних відрізків нитки в петлі, які опираються зусиллю проколу стержнем. Під впливом сили тиску опорної поверхні стержня на елементи петельної структури відбувається руйнування прямолінійних відрізків ниток в петлях до утворення наскрізного отвору, через що більш щільна структура трикотажного матеріалу забезпечує більшу величину опору проколу.

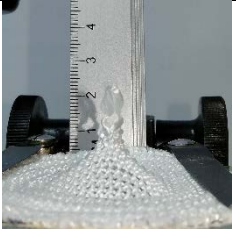
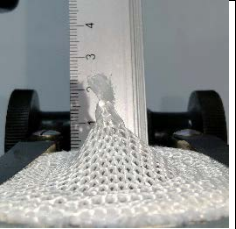
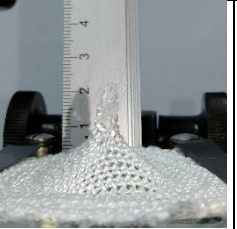
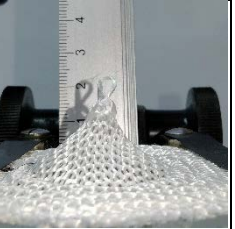
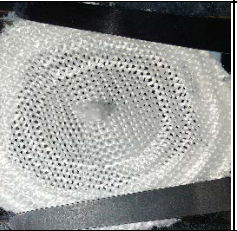
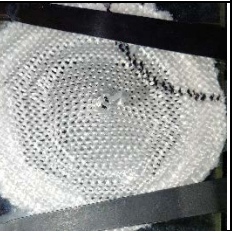
Зокрема, у випадку виготовлення трикотажу на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) при мінімальній глибині кулірування, зміна *UHMWPE* ниток на *pA* призводить до збільшення опору на 14,3% (рис. 9а,в) завдяки фізико-механічним характеристикам сировини та зигзагоподібній будові петель [1]. У разі виготовлення трикотажного матеріалу на обладнанні з платинами (типу РА) зміна *UHMWPE* ниток на *pA* призводить до збільшення опору проколу на 25,18% (рис. 9б,г). Слід також відзначити, що більшу стійкість до проколу демонструють зразки трикотажу, виготовлені на плоскофанговому обладнанні без використання платин (типу ПВРК), а саме: у разі використання *UHMWPE* нитки при порівнянні зразків найщільнішої структури на 19,18% (рис. 9а,б), у разі виготовлення трикотажу з *pA* нитки – на 13,3% (рис. 9в,г). Це пояснюється тим, що у разі вироблення трикотажу на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) завдяки забезпеченню зусилля відтягування полотна гребінкою з тягарцями є можливість одержання більш щільної структури. При цьому петлі мають видовжену форму і під дією зусилля проколу відбувається незначний перерозподіл нитки з платинних дуг у палички остовів петель та більш щільна структура матеріалу демонструє більший опір проколу. У разі виготовлення дослідних зразків на плосков'язальному обладнанні з платинами, де під дією платин фіксується стала величина між петлями в області платинних дуг, під впливом перфорируючого зусилля спочатку відбувається перерозподіл нитки з платинних дуг у палички остовів петель.

У ході досліджень опору трикотажного матеріалу проколу стержнем вивчено характер деформації та руйнування петельної структури під дією перфорируючого зусилля в залежності від виду високоміцних ниток та типу в'язального обладнання (табл. 5).

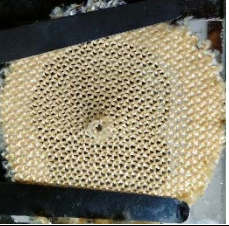
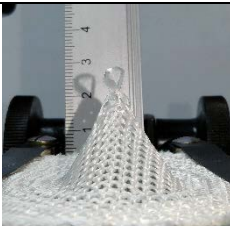
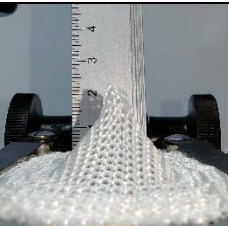
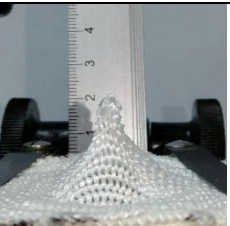
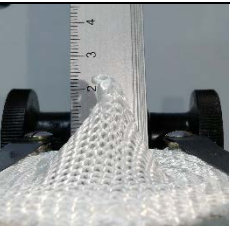
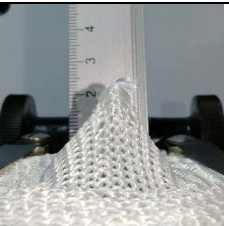
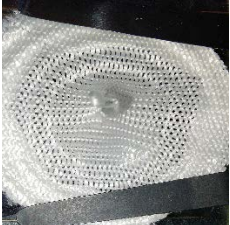
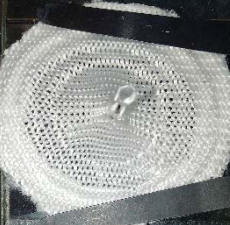
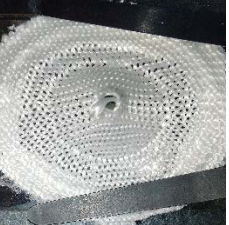
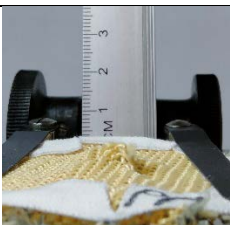
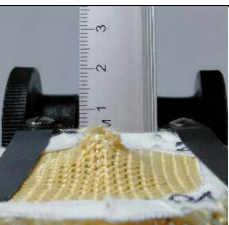
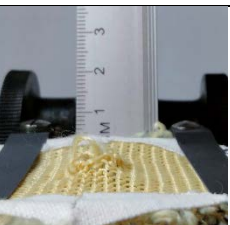
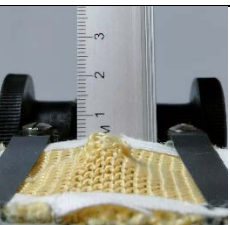
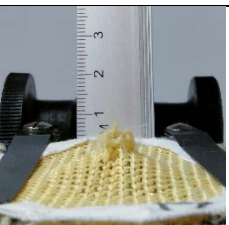
На підставі встановлених даних (табл. 4) побудовано графіки залежності величини деформації дослідних зразків під впливом перфорируючого зусилля стержня від щільності їх в'язання (рис. 10).

Таблиця 5

Характер деформації трикотажного матеріалу під дією зусилля проколу стержнем

Зразки, вироблені на обладнанні без платин типу ПВРК з <i>UHMWPE</i> нитки				
рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5
				
				

Продовження табл. 5

Зразки, вироблені на обладнанні без платин типу ПВРК з рА нитки				
Рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5
				
				
Зразки, вироблені на обладнанні з платинами типу РА з UHMWPE нитки				
Рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5
				
				
Зразки, вироблені на обладнанні з платинами типу РА з рА нитки				
Рівень глибини кулірування				
1	2	3	4	5
				
				

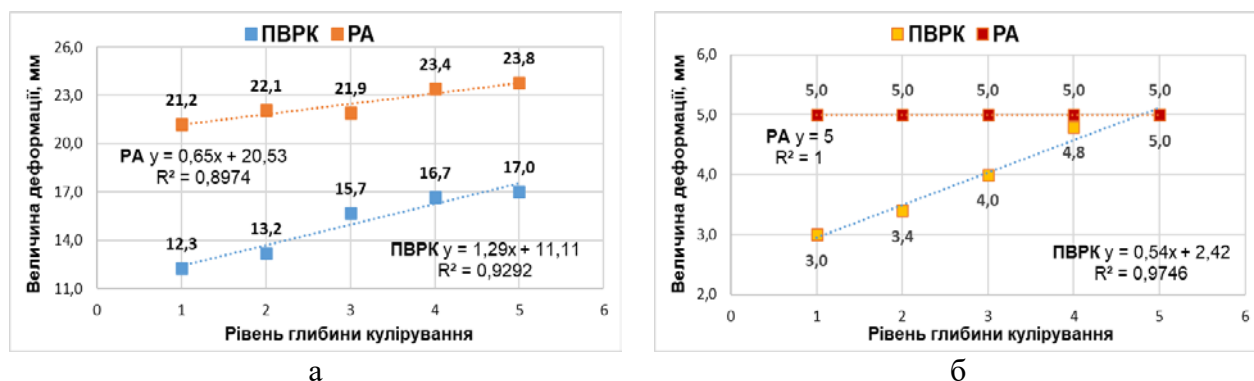


Рис. 10. Графіки залежності величини деформації зразків трикотажу під дією зусилля проколу стержем: а) з UHMWPE нитки; б) з рА нитки

Слід зазначити, що на величину деформації не має впливу щільність в'язання у разі вироблення трикотажного матеріалу з рА нитки на плосков'язальному обладнанні з платинами. Фізико-механічні характеристики UHMWPE ниток обумовлюють більшу величину деформації трикотажного матеріалу під впливом стержня. У разі використання UHMWPE ниток у наслідок перфоруючого зусилля стержня, що потрапив на прямолінійний відрізок нитки, в структурі трикотажного матеріалу відбувається його деформація та витягування нитки до моменту її руйнування. При цьому релаксація деформації петельної структури після завершення перфорування не спостерігається.

У випадку перфорування зразків з рА ниток, деформація структури трикотажного матеріалу не чітко виражена (3÷5мм), що пояснюється жорсткістю на згин даного виду сировини. Після проколу відбувається релаксація деформації нитки в петлях трикотажного матеріалу. Незначне зростання величини деформації (до 2мм) під впливом перфоруючого зусилля стержня зі зменшенням щільності в'язання можна пояснити зростанням наскрізної пористості трикотажного матеріалу та зменшенням zigzag-подібної будови петель у петельних стовпчиках [1].

Висновок: У ході досліджень встановлено характер впливу зміни глибини кулірування на показники опору трикотажного матеріалу проколу та продавлюванню кулькою. Одержані математичні моделі дозволяють на етапі проектування розрахувати показники стійкості до проколу та продавлювання кулькою у відповідності до обраних параметрів в'язання: тип плосков'язального обладнання, виду високоміцних ниток та величина глибини кулірування.

Через обмежені характеристики розривної машини КТ-7010AZ дослідні зразки трикотажного матеріалу, виготовлені з UHMWPE ниток на обладнанні без платин типу ПВРК не досягли моменту руйнування петельної структури внаслідок продавлювання кулькою.

При проколі стержем, збільшення глибини кулірування призводить до зменшення стійкості до проколу, що обумовлено зменшенням кількості прямолінійних відрізків нитки, що чинить опір проколу.

Використання високоміцних ниток дозволяє досягнути максимального 5 рівня стійкості [13] трикотажного матеріалу до проколу незалежно від його щільності в'язання. На в'язальному обладнанні без використання платин типу ПВРК можна досягнути більш щільної будови трикотажного матеріалу та відповідно вищого рівня стійкості до проколу стержем та продавлювання кулькою.

References

1. Dmytryk, O. M., Halavska, L. Ye. (2023). Vplyv tekhnologichnykh faktoriv oderzhannia trykotazhu z vysokomitsnykh nytok na formu petel ta parametry yoho

Література

1. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Вплив технологічних факторів одержання трикотажу з високоміцних ниток на форму

- struktury. [Influence of technological factors of producing knitted material from high-tension threads on the formation of loops and structure parameters]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, № 5 (16), P. 76–85 [in Ukrainian].
2. Dmytryk, O. M., Halavska, L. Ye. (2024). Vplyv typu ploskoviazalnoho obladnannia na rozryvalni kharakterystyky trykotazhnogo materialu z vysokomitsnykh nytok. [Study of the influence of flat knitting equipment type on the breaking load and elongation of knitted fabric made from high-strength threads]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, № 2 (19), P. 60–76 [in Ukrainian].
3. Deitzel, J. M., McDaniel, P., Gillespie, J. W. (2017). High-performance polyethylene fibers. *Structure and Properties of High-Performance Fibers*. P. 167–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00007-3>.
4. Zhang, J. M., Mousavi, Z., Soykeabkaew, N., Smith, P., Nishino, T., Peijs, T. (2010). All-Aramid Composites by Partial Fiber Dissolution. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2(3), P. 919–926. <https://doi.org/10.1021/am900859c>.
5. Engr. Reashad Bin Kabir, Engr. Nasrin Ferdous (2012). Kevlar-The Super Tough Fiber. *International Journal of Textile Science*, Vol. 1, No. 6, P. 78–83. DOI: 10.5923/j.textile.20120106.04.
6. Alpyildiz, T., Rochery, M., Kurbak, A., Flambard, X. (2010). Stab and cut resistance of knitted structures: a comparative study. *Textile Research Journal*, No. 81 (2), P. 205–214. DOI:10.1177/0040517510383617
7. Krauledaitė, J., Ancutienė, K., Krauledas, S., Urbelis, V., Sacevičienė, V. (2022). Investigation of the influence of high molecular weight polyethylene and basalt content used in three-dimensional weft-knitted fabrics on the mechanical risks. *Textile Research Journal*, Vol. 92 (23–24), P. 4709–4721. DOI:10.1177/00405175221109633.
8. Bobrova, S. Yu., Dmytryk, O. M., Halavska, L. Ye. (2020). Stiikist trykotazhu z vysokomitsnykh polietylenovykh nytok do dii rozdyraiuchoho zusyllia ta prokolu [Resistance of ultra-strong polyethylene yarn knitwear to tearing and puncture]. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu = Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, № 4 (75), P. 103–109 [in Ukrainian].
9. Kulyk, A., Bobrova, S., Halavska, L. (2019). Rozrobka trykotazhu pidvyshchenoi mitsnosti ta doslidzhennia yoho mekhanichnykh kharakterystyk [Development of knitted fabric with increased strength and research of its петель та параметри його структури. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 5 (16). С. 76–85.
2. Дмитрик О. М. Галавська Л. Є. Вплив типу плосков'язального обладнання на розривальні характеристики трикотажного матеріалу з високоміцних ниток. *Технології та інжиніринг*. 2024. № 2 (19). С. 60–76.
3. Deitzel J. M., McDaniel P., Gillespie J. W. High-performance polyethylene fibers. *Structure and Properties of High-Performance Fibers*. 2017. P. 167–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00007-3>.
4. Zhang J. M., Mousavi Z., Soykeabkaew N., Smith P., Nishino T., Peijs T. All-Aramid Composites by Partial Fiber Dissolution. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2010. 2(3). P. 919–926. <https://doi.org/10.1021/am900859c>.
5. Engr. Reashad Bin Kabir, Engr. Nasrin Ferdous. Kevlar-The Super Tough Fiber. *International Journal of Textile Science*. 2012. Vol. 1, No. 6. P. 78–83. DOI: 10.5923/j.textile.20120106.04.
6. Alpyildiz T., Rochery M., Kurbak A., Flambard X. Stab and cut resistance of knitted structures: a comparative study. *Textile Research Journal*. 2010. No. 81 (2). P. 205–214. DOI: 10.1177/0040517510383617.
7. Krauledaitė J., Ancutienė K., Krauledas S., Urbelis V., Sacevičienė V. Investigation of the influence of high molecular weight polyethylene and basalt content used in three-dimensional weft-knitted fabrics on the mechanical risks. *Textile Research Journal*. 2022. Vol. 92 (23–24). P. 4709–4721. DOI: 10.1177/00405175221109633.
8. Боброва С. Ю., Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Стійкість трикотажу з високоміцних поліетиленових ниток до дії роздираючого зусилля та проколу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. № 4 (75). С. 103–109.
9. Кулик А. А., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Розробка трикотажу підвищеної міцності та дослідження його механічних характеристик. *Міжнародний науковий*

- mechanical characteristics]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "OSVITA I NAUKA" = International scientific journal "EDUCATION AND SCIENCE"*, Vol. 1 (26), P. 40–47 [in Ukrainian].
10. Sun, Y., Xu, W., Wei, W., Ma, P., Xia, F. (2021). Stab-resistance of auxetic weft-knitted fabric with Kevlar fibers at quasi-static loading. *Journal of Industrial Textiles*, No. 50 (9), P. 1384–1396. DOI: 10.1177/1528083719865044.
11. Halavska, L., Kravchuk, M., Mikucioniene, D. (2023). Research of knitted fabric materials on the resistance to puncture and ball pressure. *Zbirnyk tez dopovidei VII Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii tekstylnykh ta feshn-tekhnologii KyivTex&Fashion* (Kyiv, 19.10.2023). Kyiv: KNUTD. P. 148–150.
12. Zelalem, E., Gideon, R. K. (2020). The Study of Mechanical Properties of Knitted Fabrics: Tear and Bursting Strength. *J Adv Res Poly Text Engi*, No. 1 (1), P. 34–40.
13. EN 388-2019 Systema standartiv okhorony pratsi. Zasoby indyvidualnoho zakhystu ruk. Zakhysni rukavychky vid mekhanichnykh poshkodzhenn. Tekhnichni vymohy. Metody vyprobuvan [EN 388-2019 Occupational safety standards system. Personal protective means of hands. Protective gloves against mechanical risks. Technical requirements. Test methods]. Data aktualizatsii: 01.01.2021 [in Ukrainian].
14. GOST 8847-85 Knitted fabrics. Methods for determination of breaking characteristics and extensibility under loads less than breaking loads. Не діє в Україні.
15. Klochko, O. (2006). *Doslidzhennia u trykotazhnii promyslovosti: navch. posibnyk dlia stud. vyshchykh navch. zakl.* [Research in the knitted industry: study guide]. Kyiv: KNUTD. 190 p. [in Ukrainian].
16. PN-EN ISO 3379:2015. Leather – Determination of Distension and Strength of Surface (Ball Burst Method).
- журнал "ОСВІТА І НАУКА". 2019. Вип. 1 (26). С. 40-47.
10. Sun Y., Xu W., Wei W., Ma P., Xia F. Stab-resistance of auxetic weft-knitted fabric with Kevlar fibers at quasi-static loading. *Journal of Industrial Textiles*. 2021. No. 50 (9). P. 1384–1396. DOI: 10.1177/1528083719865044.
11. Halavska L., Kravchuk M., Mikucioniene D. Research of knitted fabric materials on the resistance to puncture and ball pressure. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн-технологій KyivTex&Fashion* (Київ, 19.10.2023). Київ: КНУТД, 2023. С. 148–150.
12. Zelalem E., Gideon R. K. The Study of Mechanical Properties of Knitted Fabrics: Tear and Bursting Strength. *J Adv Res Poly Text Engi*. 2020. No. 1 (1). P. 34–40.
13. EN 388-2019 Система стандартів охорони праці. Засоби індивідуального захисту рук. Захисні рукавички від механічних пошкоджень. Технічні вимоги. Методи випробувань. Дата актуалізації: 01.01.2021.
14. GOST 8847-85 Knitted fabrics. Methods for determination of breaking characteristics and extensibility under loads less than breaking loads. Не діє в Україні.
15. Ключко О. І. Дослідження у трикотажній промисловості: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. К.: КНУТД, 2006. 190 с.
16. PN-EN ISO 3379:2015. Leather – Determination of Distension and Strength of Surface (Ball Burst Method).

DMYTRYK OKSANA

Postgraduate student,
Department of Textile Technology and Design,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-8638-9632>

Scopus Author ID: 57225127346

E-mail: dmytryk.om@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

KHARCHENKO YULIA

Candidate of Technical Science,
Testing Laboratory of Analytical Research "Textile-TEST",
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0007-9738-087X>
E-mail: Harchenko.jm@kntud.com.ua

¹DMYTRYK O. M., ¹HALAVSKA L. Ye., ²KHARCHENKO Yu. M.

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²Testing Laboratory of Analytical Research "Textile-TEST", Kyiv, Ukraine

THE INFLUENCE OF A SPECIFIC FLAT KNITTING EQUIPMENT ON THE RESISTANCE OF KNITTED MATERIALS MADE OF HIGH-STRENGTH YARNS TO MECHANICAL DAMAGE (PIERCING WITH A ROD AND PRESSING WITH A BALL)

Purpose. To study the influence of peculiarities of manufacturing with the use of flat knitting equipment of two types (with and without sinkers) of knitted material of the plain interloping made from high-strength yarns on its resistance to mechanical damage (particularly, piercing with a rod and pressing with a ball).

Methodology. To determine specifics of the resistance of knitted materials to mechanical damage such as piercing with a rod and pressing with a ball, actual standardized research methods were used. The study of the resistance to piercing with a rod and pressing with a ball was carried out using an electronic tensile tester KT-7010AZ. An active one-factor experiment was conducted to determine the influence of the knitting density and the type of flat-knitting equipment on the characteristics of knitted fabrics' resistance to mechanical damage in accordance with the selected type of flat-knitting equipment. The method of linear regression analysis was used to process the experimental data and construct graphs and diagrams of mechanical effects in the traditional planning of an active one-factor experiment implementing the tools of Microsoft Excel.

The results. In the course of the research, it was found out that the resistance to piercing with rod and pressing with a ball of knitted fabrics made of high-strength yarns is influenced by the type of yarns chosen, as well as by the type of flat-knitting equipment, the jersey structure depth and knitting density. At the same time, knitted fabrics produced with the use of flat-knitting equipment without platens demonstrate a higher level of resistance to the studied indicators of mechanical damage. In particular, it was not possible to establish the tensile strength of a knitted material produced from high molecular weight polyethylene yarns to resist the ball punching, since the pressure exceeded 5000N, with the measurement scale of the tensile machine being 5000N. The nature of deformation of test samples under the influence of the force caused by the rod piercing and ball pressing was analyzed. The processes of piercing and pressing are preceded by the tear-off of a single thread in the knitted material structure. However, in the case of para-aramid yarns, the loops are immediately released as a result of the yarn rupture and damage to the structure wholeness.

Scientific novelty. It has been established that the value of resistance to piercing with a rod and pressing with a ball of knitted fabric is influenced not only by the selected type of high-strength yarns and knitting density, but also by the presence of platens in the looping process. The nature of influence of a flat-knitting equipment type (with and without sinkers) and the knitting density of knitted materials of a plain weave made from high-molecular-weight polyethylene and para-aramid yarns on the value of resistance to mechanical damages was as well specified.

Practical significance. The mathematical dependencies obtained during the implementation of an active single-factor experiment of the research allow us to calculate the value of resistance to piercing with a rod and pressing with a ball and to select rational manufacturing parameters (type of high-strength yarns, type of flat knitting equipment, depth of jersey structure) in accordance with the required level of resistance of knitted fabrics to the studied indicators of mechanical damage, and to determine the rational parameters of manufacturing knitted fabrics.

Keywords: para-aramid thread; ultra-high molecular weight polyethylene thread; durable knitted materials; plain interloping; piercing with a rod; pressing with a ball; flat knitting equipment.