

УДК 677.072:
677.494:677.01

ДМИТРИК О. М., ГАЛАВСЬКА Л. Є.
Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВПЛИВ ТИПУ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА РОЗРИВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИКОТАЖНОГО МАТЕРІАЛУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК

Мета. Дослідження впливу зміни типу плосков'язального обладнання (без платин та з платинами) на характеристики міцності трикотажного матеріалу переплетення кулірна гладь, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

Методика. Робота базується на теорії в'язання, методах аналізу та синтезу отриманих результатів, використанні основ текстильного матеріалознавства. Характеристики стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів до дії розривального зусилля встановлено у відповідності до існуючої стандартизованої методики з використанням розривної машини електронного типу КТ-7010AZ. Для виявлення впливу щільності в'язання на величину розривального навантаження та видовження досліджуваних зразків трикотажних матеріалів реалізовано метод лінійного регресійного аналізу при традиційному плануванні активного експерименту. Для обробки результатів експерименту та побудови графіків за середніми значеннями показників використано програму Microsoft Excel.

Результати. У ході проведених досліджень виявлено, що на розривальні характеристики трикотажного матеріалу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток впливає тип плосков'язального обладнання, а саме: наявність чи відсутність платин при формуванні петель. Участь платин у процесі петлетворення обумовлює формування заданої величини відрізка нитки в області платинної дуги петлі. Це у свою чергу впливає на величину розривального видовження трикотажного матеріалу. Зразки трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових ниток продемонстрували кращі результати щодо стійкості до прикладеного розривального зусилля як у напрямку петельних рядів, так і стовпчиків. На величину питомого розривального видовження на один петельний стовпчик чи ряд у випадку вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні без платин із загальним зусиллям відтягування полотна, зміна щільності в'язання має незначний вплив (до 5%).

Наукова новизна. Встановлено характер впливу типу плосков'язального обладнання (з платинами та без) та щільності в'язання на характеристики міцності трикотажного матеріалу переплетення гладь, виробленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

Практична значимість. Одержані у ході експерименту регресійні залежності дозволяють визначити величину розривального навантаження та видовження трикотажного матеріалу переплетення гладь, виробленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток, у відповідності до обраного типу плосков'язального обладнання та величини глибини кулірування.

Ключові слова: пара-арамідна нитка; високомолекулярна поліетиленова нитка; високоміцний трикотажний матеріал; переплетення гладь; розривальне навантаження; розривальне видовження; плосков'язальне обладнання.

Вступ. Текстильні матеріали з високоміцних ниток все частіше використовуються в промислових і військових цілях для виготовлення одягу, засобів індивідуального захисту та інших споживчих товарів, де висока стійкість волокнистої структури до різних видів механічних впливів має першочергове значення. Властивості таких матеріалів в основному обумовлені використанням різних комбінацій ниток підвищеної міцності, таких як пара-амідні, мета-амідні, високомолекулярні поліетиленові, вуглецеві, базальтові та інші високоміцні волокна й нитки з функціональними властивостями.

Розширення технічних сфер використання трикотажних матеріалів обумовило доцільність вивчення їх поведінки під дією розтягуючих зусиль з метою пошуку оптимальних рішень [1, 2].

Для оцінки міцності захисних текстильних матеріалів використовують різні показники, найпоширенішими з яких є розривальне навантаження й відносне розривальне видовження. На вказані характеристики впливає не лише вид високоміцних ниток, а й структура переплетення та параметри в'язання трикотажного матеріалу.

Традиційно величину розривального зусилля, яке витримує трикотажний матеріал до моменту розриву визначають у напрямку петельних рядів та петельних стовпчиків. Однак позаосьове розтягування є також поширеним процесом тестування та аналізу фізико-механічних властивостей трикотажних матеріалів. Багато дослідників вивчали властивості трикотажних полотен на розтяг, коли сила діє у напрямку петельного ряду [3–8]. Властивості трикотажних полотен також досліджувалися при дії сили у напрямку петельних стовпчиків [9]. Автор роботи [10] зазначає у своїх дослідженнях, що у разі використання трикотажних матеріалів для технічних потреб важливим завданням є вивчення напружень і деформацій текстильного матеріалу не лише у напрямку петельних рядів та стовпчиків, а й при зміні кута нахилу дії розтягуючої сили.

Авторами роботи [11] проведено дослідження розривних характеристик трикотажного матеріалу, коли осьові сили розтягу діють на пробу, вирізану під різними кутами відносно напрямку розташування петельних стовпчиків та рядів. Одержані результати досліджень демонструють поведінку ниток в петлях під дією прикладених під кутом до осі трикотажного матеріалу розтягуючого зусилля. Однак дані результати не можуть бути використані для аналізу впливу кута прикладання розтягуючого зусилля, оскільки для виготовлення дослідних зразків використано бавовняну пряжу, яка відрізняється за своїми фізико-механічними характеристиками від високоміцних ниток. Крім того, запропонований метод цікавим є з позиції вивчення поведінки трикотажного матеріалу для подальшого відтворення у віртуальних експериментах. У нашому випадку, для пошуку оптимальних параметрів виготовлення на в'язальному обладнанні різних типів (з платинами та без) трикотажного матеріалу, стійкого до дії механічних ушкоджень, важливим є встановлення характеру їхнього впливу на відповідні нормативні показники, величини яких визначають згідно стандартизованих методів випробовувань.

У роботі [12] розглянута поведінка розтягування та розриву нового виду матеріалу, який поєднує в собі тканину та трикотажну структуру. Розривальне зусилля прикладалося у трьох напрямках. Результати показали, що розривальні характеристики досліджуваного текстильного матеріалу тісно пов'язані з напрямком навантаження та наявністю петельної структури.

Авторами роботи [13] досліджено вплив структури переплетення на розривальні характеристики трикотажного матеріалу, виробленого двошаровим переплетенням з пресовим з'єднанням шарів основними нитками. Для формування одного шару трикотажного матеріалу обрано високомолекулярну поліетиленову нитку, а для іншого - поліамідну нитку технічного призначення. Однак, щільність в'язання не бралася як фактор впливу на характеристики міцності трикотажного матеріалу.

Робота [14] присвячена дослідженню розривних характеристик трикотажних матеріалів з високомолекулярного поліетилену різних видів переплетень: гладь, двовиворітна гладь, інтерлок та швейцарське піке. Аналіз випробовувань дозволив виявити, що трикотажний матеріал, вироблений подвійним переплетенням інтерлок за рахунок особливостей структуроутворення демонструє найбільший опір розриву та найменше видовження.

У роботі [15] висвітлено особливості переробки високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини 132 текс на плосков'язальному автоматі ПА-8-33 8 класу з введенням у структуру у вигляді футерних накидів еластомерної нитки типу спандекс 100 текс, а також результати дослідження впливу щільності в'язання на розривальні характеристики трикотажу

та його стійкість до прорізування. Однак дослідні зразки трикотажного матеріалу вироблені лише при трьох рівнях глибини кулірування ($h_k = 3,5; 3,75; 4,0$ мм) та з використанням лише одного з видів високоміцних ниток.

Як відомо, трикотажний матеріал з фізичної точки зору є анізотропною структурою з еластичними властивостями [16]. Авторами роботи встановлено, що зв'язок між прикладеним зусиллям та деформацією розтягу не є лінійним [17]. Тому саме шляхом проведення експериментальних досліджень важливо краще розуміти як впливають вид використаних ниток й параметри трикотажного матеріалу, зокрема щільність в'язання, на його поведінку та характер розриву.

Постановка завдання. Аналіз наукових робіт за напрямом дослідження, дозволяє зробити висновок, що розривальне навантаження та видовження є важливими характеристиками трикотажного матеріалу підвищеної міцності. Однак у наукових працях відсутні відомості щодо впливу типу в'язального обладнання з платинами та без на розривальні характеристики трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток за умови їх однакової лінійної густини. Таким чином, для розуміння характеру опору трикотажного матеріалу, виробленого на різних типах плосков'язального обладнання з високоміцних ниток, прикладеному розривальному зусиллю під час його використання доцільним є проведення відповідних досліджень за умови зміни щільності в'язання у процесі його виготовлення.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктом є процес руйнування трикотажних матеріалів, вироблених з високомолекулярної поліетиленової (UHMWPE, скорочено pE) та пара-арамідної (pA) ниток на двох типах плосков'язального обладнання 8 класу: плосков'язальна машина з платинами типу ПА-8-33 (РА) та плоскофанговий напів-автомат типу ПВРК без платин.

Для забезпечення нормального перебігу процесу петлетворення на двох типах плосков'язального обладнання 8 класу з платинами та без встановлено мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування для двох видів високоміцних ниток (пара-арамідної (pA) та високомолекулярної поліетиленової (UHMWPE – pE) лінійної густини 44текс×3 компанії Shaanxi Sunriseetech Co., Ltd., Китай. Зокрема, для рукавичкового автомата (РА) ПА-8-33, на якому утримання петель та зусилля відтягування полотна забезпечується горловинами платин, мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування для UHMWPE нитки складають $h_{min} = 3,55; h_{max} = 3,95$ мм та для pA нитки $h_{min} = 3,4; h_{max} = 3,8$ мм. У разі вироблення зразків трикотажу на плоскофанговому напів-автоматі типу ПВРК, де зусилля відтягування полотна забезпечується гребінкою з тягарцями мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування становлять для UHMWPE нитки $h_{min} = 3,2; h_{max} = 3,56$ мм та для pA нитки $h_{min} = 3,09; h_{max} = 3,45$ мм.

У табл. 1–2 наведено середні значення параметрів петельної структури досліджуваних трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) при п'яти рівнях щільності в'язання, із зазначенням верхньої і нижньої межі довірчого інтервалу, у межах якого з довірчою імовірністю 95% можна чекати значення.

Для реалізації задач досліджень використано метод регресійного аналізу та одержання однофакторних математичних моделей. У якості вхідного параметра активного експерименту обрано глибину кулірування, яка змінювалася на п'яти рівнях у заданому діапазоні зміни щільності в'язання. Вихідними досліджуваними параметрами є розривальне навантаження та видовження.

Таблиця 1

Характеристика дослідних зразків трикотажних матеріалів з плосков'язальної машини без платин (типу ПВРК)

№ зразка	Величина глибини кулірування h, мм		Середні значення параметрів структури									
			довжина нитки в петлі ℓ, мм		кількість пет. стовпчиків, Nc		кількість пет. рядів, Nr		товщина M, мм		поверхнева густина ms, г/м ²	
			pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,20	3,09	8,36 ±0,08	7,93 ±0,06	49,00 ±0,44	44,85 ±0,45	54,40 ±0,46	61,50 ±0,47	1,137 ±0,011	0,895 ±0,012	344,56 ±4,371	341,78 ±5,645
2	3,29	3,18	8,51 ±0,06	8,11 ±0,04	48,50 ±0,31	44,10 ±0,32	53,45 ±0,32	60,65 ±0,34	1,133 ±0,008	0,883 ±0,008	336,72 ±3,091	334,98 ±3,069
3	3,38	3,27	8,63 ±0,05	8,20 ±0,04	47,60 ±0,25	43,30 ±0,26	52,55 ±0,26	59,80 ±0,27	1,128 ±0,006	0,873 ±0,006	329,42 ±2,524	326,42 ±1,393
4	3,47	3,36	8,71 ±0,06	8,40 ±0,04	46,70 ±0,31	42,45 ±0,32	51,60 ±0,32	59,30 ±0,34	1,123 ±0,008	0,861 ±0,008	325,14 ±3,091	319,98 ±3,069
5	3,56	3,45	8,95 ±0,08	8,55 ±0,06	46,05 ±0,44	41,40 ±0,45	51,10 ±0,46	58,50 ±0,47	1,111 ±0,011	0,840 ±0,012	317,22 ±4,371	317,06 ±5,645

Таблиця 2

Характеристика дослідних зразків трикотажних матеріалів з плосков'язальної машини з платинами (типу РА)

№ зразка	Величина глибини кулірування h, мм		Середні значення параметрів структури									
			довжина нитки в петлі ℓ, мм		кількість пет. стовпчиків, Nc		кількість пет. рядів, Nr		товщина M, мм		поверхнева густина ms, г/м ²	
			pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,55	3,40	8,58 ±0,02	8,29 ±0,02	35,50 ±0,26	41,30 ±0,21	76,70 ±0,37	63,95 ±0,34	1,383 ±0,010	0,956 ±0,013	383,84 ±6,30	312,80 ±5,36
2	3,65	3,50	8,74 ±0,01	8,51 ±0,02	35,70 ±0,18	41,10 ±0,15	74,60 ±0,26	62,45 ±0,24	1,395 ±0,007	0,966 ±0,008	376,00 ±4,08	301,84 ±3,79
3	3,75	3,60	8,91 ±0,01	8,63 ±0,01	35,90 ±0,15	40,35 ±0,12	71,25 ±0,21	59,85 ±0,19	1,405 ±0,006	0,976 ±0,006	361,44 ±4,67	296,56 ±3,10
4	3,85	3,70	9,16 ±0,01	8,81 ±0,02	36,10 ±0,18	39,90 ±0,15	67,30 ±0,26	57,40 ±0,24	1,410 ±0,007	0,992 ±0,008	351,92 ±4,08	291,20 ±3,79
5	3,95	3,80	9,33 ±0,02	8,97 ±0,02	36,80 ±0,26	39,75 ±0,21	64,30 ±0,37	55,05 ±0,34	1,421 ±0,010	1,003 ±0,013	368,64 ±6,30	288,54 ±5,36

Згідно стандартизованої методики [18] з використанням розривної машини електронного типу Као Тієн моделі КТ-7010AZ з рухомим верхнім затискачем, який рухається зі сталою швидкістю 100 мм/хв, та автоматичним вимкненням у разі руйнування матеріалу визначено розривальні характеристики дослідних зразків трикотажних матеріалів. Для проведення випробувань попередньо були підготовлені проби прямокутної форми розміром 20 мм×5 мм (у напрямку петельних рядів та стовпчиків) з вироблених на двох типах плосков'язального обладнання трикотажних матеріалів. Для визначення величини розривального навантаження й видовження розроблених зразків трикотажних матеріалів та встановлення відповідних регресійних залежностей з довірчою ймовірністю 95% виконано по 10 повторних випробувань для кожного з 5 рівнів вхідного параметра. Фото з характером

деформації та руйнування дослідних зразків трикотажних матеріалів у напрямку петельних рядів на рис.1 та у напрямку стовпчиків – на рис. 2.

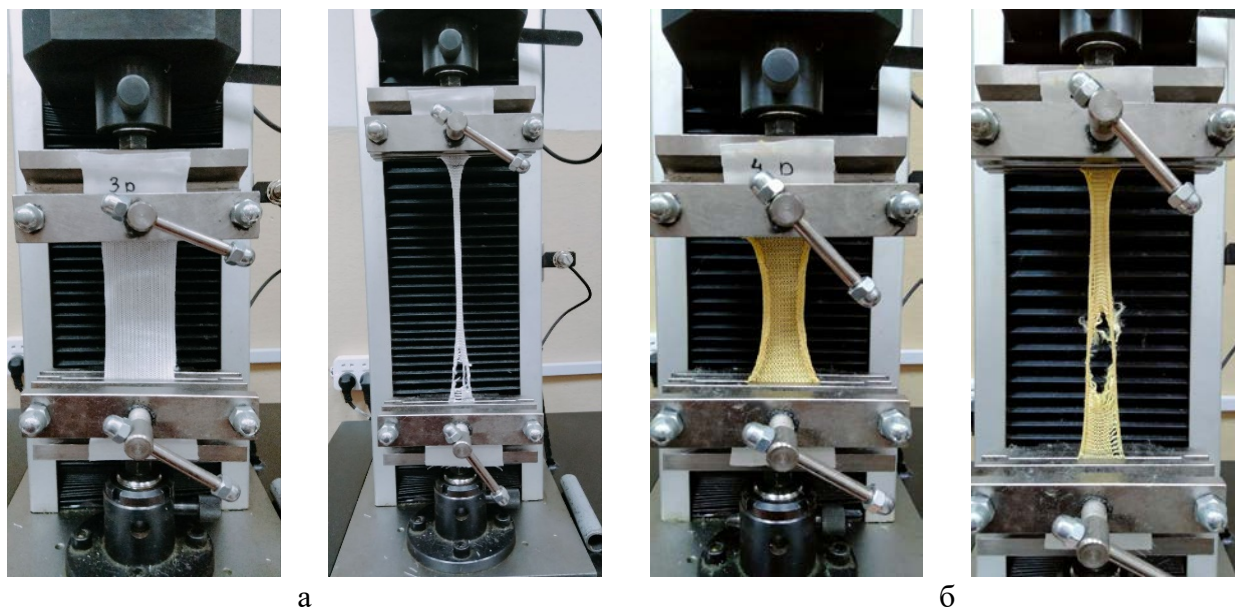


Рис. 1. Фото дослідних зразків трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА), у затискачах розривної машини КТ-7010AZ у початковий момент та у момент руйнування проби у напрямку петельних стовпчиків:
а) з UHMWPE (pE) нитки; б) з pA нитки

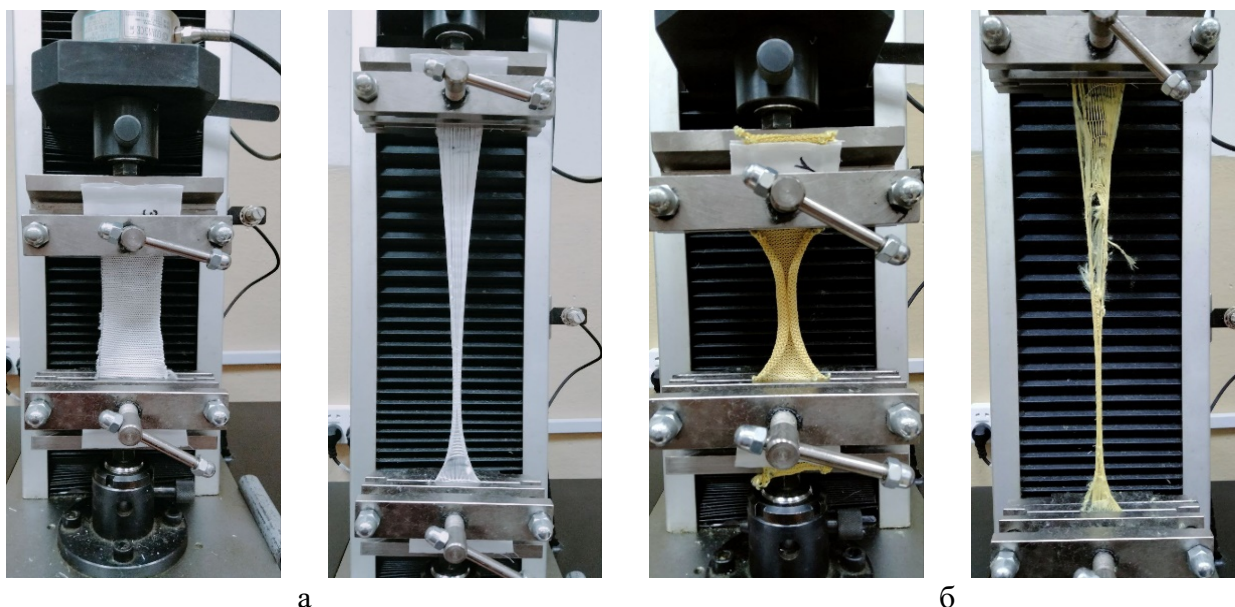


Рис. 2. Фото дослідних зразків трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА), у затискачах розривної машини КТ-7010AZ у початковий момент та у момент руйнування проби у напрямку петельних рядів:
а) з UHMWPE (pE) нитки; б) з pA нитки

Результати досліджень. З метою реалізації активного експерименту [19] попередньо на рукавичковому автоматі 8 класу вироблено дослідні зразки трикотажного матеріалу трубчастої форми одинарним переплетенням кулірна гладь із зазначених видів ниток при 5 рівнях глибини кулірування нитки у визначеному діапазоні з кроком 0,1мм за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання; на плоскофанговому напів-автоматі типу ПВРК 8 класу – з кроком 0,09 мм.

З використанням зразків трикотажних матеріалів, одержаних на двох типах плосков'язального обладнання з платинами та без досліджено вплив щільності в'язання, та виду високоміцних ниток на розривальні характеристики. Середні значення результатів досліджень наведені відповідно для двох типів плосков'язального обладнання у табл. 3–6.

Таблиця 3

Розривальне навантаження дослідних зразків трикотажних матеріалів з плосков'язального обладнання без платин (типу ПВРК)

№ зразка	Глибина кулірування h, мм		Розривальне навантаження вздовж пет. ст., Н		Питоме розривальне навантаження на один пет.ст., Н		Розривальне навантаження вздовж пет. рядів, Н		Питоме розривальне навантаження на один пет. ряд, Н	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,20	3,09	2672,24 ±232,76	2482,92 ±180,74	109,07 ±9,50	110,72 ±8,06	1922,38 ±53,14	1414,50 ±79,99	70,68 ±1,95	46,00 ±2,60
2	3,29	3,18	2791,70 ±164,59	2538,44 ±127,80	115,12 ±6,79	115,12 ±5,80	1894,28 ±37,58	1373,98 ±56,56	70,88 ±1,41	45,31 ±1,87
3	3,38	3,27	3053,12 ±134,39	2575,68 ±104,35	128,28 ±5,65	118,97 ±4,82	1844,54 ±30,68	1337,76 ±46,18	70,20 ±1,17	44,74 ±1,54
4	3,47	3,36	3207,28 ±164,59	2631,78 ±127,80	137,36 ±7,05	123,99 ±6,02	1811,72 ±37,58	1286,72 ±56,56	70,22 ±1,46	43,40 ±1,91
5	3,56	3,45	3546,98 ±232,76	2743,24 ±180,74	154,05 ±10,11	132,52 ±8,73	1725,32 ±53,14	1225,00 ±79,99	67,53 ±2,08	41,88 ±2,73

Таблиця 4

Розривальне видовження дослідних зразків трикотажних матеріалів з плосков'язального обладнання без платин (типу ПВРК)

№ зразка	Глибина кулірування h, мм		Розривальне видовження вздовж пет. ст., %		Питоме розривальне видовження на один пет.ст., %		Розривальне видовження вздовж пет. рядів, %		Питоме розривальне видовження на один пет. ряд, %	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,20	3,09	73,02 ±3,11	89,54 ±2,75	2,98 ±0,13	3,99 ±0,12	269,44 ±8,41	204,18 ±6,40	9,91 ±0,31	6,64 ±0,21
2	3,29	3,18	75,14 ±2,20	90,40 ±1,95	3,10 ±0,09	4,10 ±0,09	263,64 ±5,95	196,40 ±4,53	9,86 ±0,22	6,48 ±0,15
3	3,38	3,27	76,76 ±1,79	91,28 ±1,59	3,23 ±0,08	4,22 ±0,07	259,84 ±4,86	191,70 ±3,70	9,89 ±0,18	6,41 ±0,12
4	3,47	3,36	80,76 ±2,20	92,54 ±1,95	3,46 ±0,09	4,36 ±0,09	256,42 ±5,95	183,48 ±4,53	9,94 ±0,23	6,19 ±0,15
5	3,56	3,45	83,24 ±3,11	93,44 ±2,75	3,62 ±0,14	4,51 ±0,13	253,72 ±8,41	178,86 ±6,40	9,93 ±0,33	6,11 ±0,22

Таблиця 5

**Розривальне навантаження дослідних зразків трикотажних матеріалів
 з плосков'язального обладнання з платинами (типу PA)**

№ зразка	Глибина кулірування h, мм		Розривальне навантаження вздовж пет. ст., Н		Питоме розривальне навантаження на один пет.ст., Н		Розривальне навантаження вздовж пет. рядів, Н		Питоме розривальне навантаження на один пет. ряд, Н	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,55	3,40	2018,96 ±124,17	2100,54 ±98,75	113,74 ±7,00	101,72 ±4,78	2315,80 ±120,30	1386,52 ±60,28	60,39 ±3,14	43,36 ±1,89
2	3,65	3,50	2105,72 ±87,80	2144,88 ±69,83	117,97 ±4,92	104,37 ±3,40	2300,34 ±85,07	1370,64 ±42,63	61,67 ±2,28	43,90 ±1,37
3	3,75	3,60	2265,84 ±71,69	2184,50 ±57,01	126,23 ±3,99	108,28 ±2,83	2249,96 ±69,46	1337,94 ±34,81	63,16 ±1,95	44,71 ±1,16
4	3,85	3,70	2340,92 ±87,80	2279,38 ±69,83	129,69 ±4,86	114,25 ±3,50	2159,28 ±85,07	1287,58 ±42,63	64,17 ±2,53	44,86 ±1,49
5	3,95	3,80	2395,36 ±124,17	2322,66 ±98,75	130,18 ±6,75	116,86 ±4,97	2091,06 ±120,30	1243,06 ±60,28	65,04 ±3,74	45,16 ±2,19

Таблиця 6

**Розривальне видовження дослідних зразків трикотажних матеріалів
 з плосков'язального обладнання з платинами (типу PA)**

№ зразка	Глибина кулірування h, мм		Розривальне видовження вздовж пет. ст., %		Питоме розривальне видовження на один пет.ст., %		Розривальне видовження вздовж пет. рядів, %		Питоме розривальне видовження на один пет. ряд, %	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,55	3,40	134,66 ±5,16	105,54 ±1,82	7,59 ±0,29	5,11 ±0,09	161,26 ±11,18	190,16 ±12,26	4,20 ±0,29	5,95 ±0,38
2	3,65	3,50	136,78 ±3,65	106,62 ±1,29	7,66 ±0,20	5,19 ±0,06	174,18 ±7,90	199,46 ±8,67	4,67 ±0,21	6,39 ±0,28
3	3,75	3,60	139,50 ±2,98	107,42 ±1,05	7,77 ±0,17	5,32 ±0,05	190,18 ±6,45	204,48 ±7,08	5,34 ±0,18	6,83 ±0,24
4	3,85	3,70	142,70 ±3,65	108,74 ±1,29	7,91 ±0,20	5,45 ±0,06	204,82 ±7,90	210,66 ±8,67	6,09 ±0,23	7,34 ±0,30
5	3,95	3,80	146,20 ±5,16	110,76 ±3,65	7,95 ±0,28	5,57 ±0,18	230,42 ±11,18	224,80 ±12,26	7,17 ±0,35	8,17 ±0,45

Слід відзначити, що характер руйнування проб трикотажних матеріалів відрізняється у разі визначення розривальних характеристик у напрямку петельних стовпчиків та рядів. А саме: у напрямку петельних стовпчиків відбувається поступове видовження проби внаслідок перерозподілу нитки з протяжок у остови петель до моменту її повного розриву (плавна крива навантаження-видовження). У разі дослідження у напрямку петельних рядів спочатку спостерігається розпуск петель у петельних стовпчиках під дією розривального зусилля, внаслідок чого крива навантаження-видовження має ступінчастий характер внаслідок стрибків напруги під час розпуску петель. І лише після повного розпуску петель в петельних стовпчиках відбувається руйнування ниток в окремих рядах до моменту настання повного розриву проби (рис. 3).

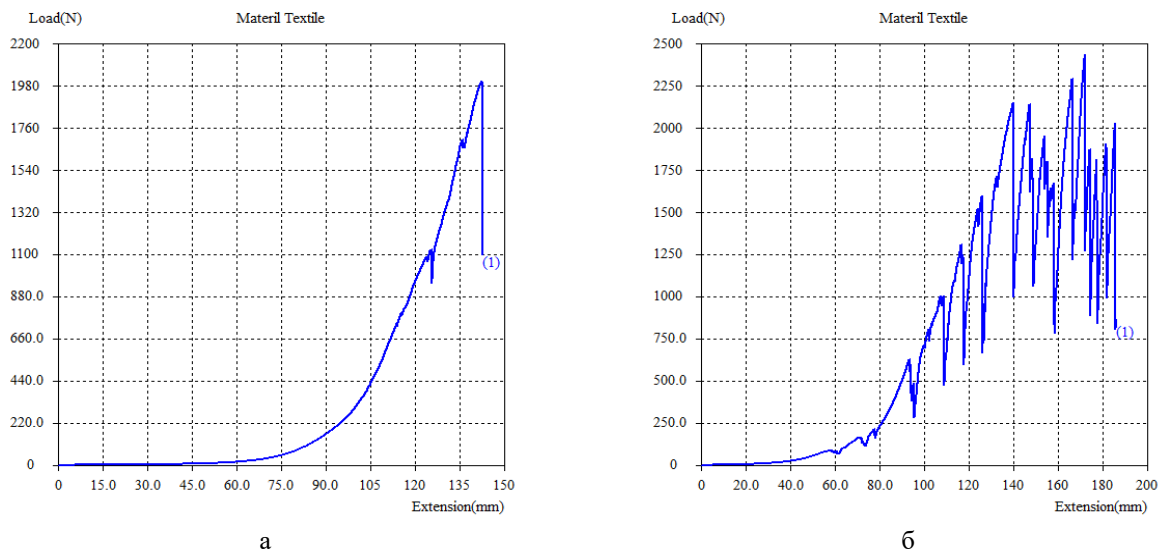


Рис. 3. Приклад графіків розриву трикотажного матеріалу на машині КТ-7010AZ, виготовлених з UHMWPE нитки при мінімальному рівні глибини кулірування на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА):
 а) вздовж петельних стовпчиків; б) вздовж петельних рядів

Шляхом регресійного аналізу одержаних результатів випробувань встановлено математичні залежності, на підставі яких побудовано відповідні графіки. Графіки, наведені на рис. 4–7 наглядно ілюструють вплив щільності в'язання на величину розривального навантаження та видовження.

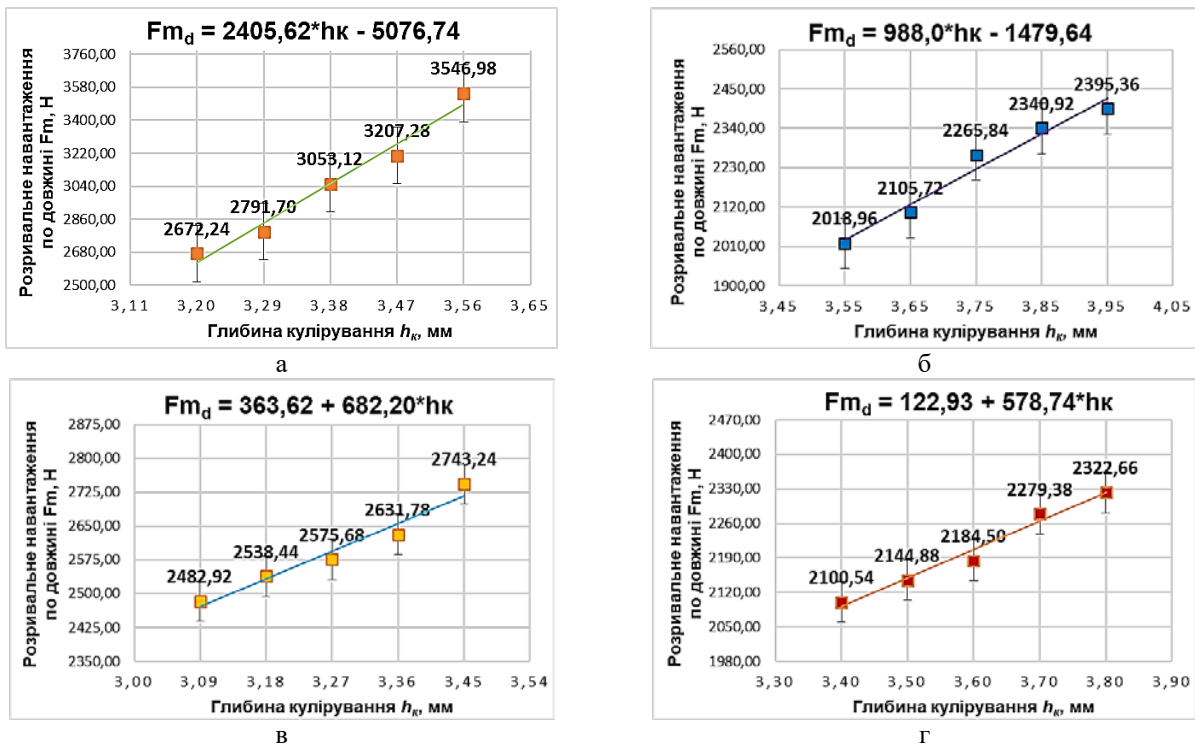


Рис. 4. Розривальне навантаження вздовж петельних стовпчиків трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з UHMWPE нитки; в) з рА нитки з платинами типу РА: б) з UHMWPE нитки; г) з рА нитки

Як видно з графіків, наведених на рис. 4, зі збільшенням глибини кулірування при формуванні петель, величина розривального навантаження, яке витримують дослідні зразки трикотажних матеріалів по довжині, не залежно від виду високоміцних ниток та типу плосков'язального обладнання зростає та має лінійний характер зміни. Це обумовлено тим, що зменшення щільності в'язання забезпечує кращий перерозподіл нитки з протяжок в остови петель. Під дією розривального зусилля відбувається ущільнення структури за рахунок зменшення величини платинних дуг суміжних петель. При цьому, чим щільніша структура, тим за менший відрізок часу під дією розривального зусилля відбувається перерозподіл нитки з протяжок в палички остовів петель та руйнування елементарних волокон в нитці у точках переплетення. Слід також зауважити, що використання pE ниток дозволяє досягнути кращих результатів міцності трикотажного матеріалу внаслідок дії розривального зусилля. Зокрема, за умови мінімального рівня глибини кулірування, використання pE ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) дозволяє збільшити величину розривального навантаження на 7,62% порівняно зі зразками з pA ниток (рис. 4 а, в). У разі використання плосков'язального обладнання з платинами (типу РА) зміна виду високоміцних ниток не має такого суттєвого впливу (близько 2–4% в залежності від рівня глибини кулірування, що є в межах похибки вимірювань) (рис. 4 б, г). Одержані результати досліджень вказують на те, що тип плосков'язального обладнання з платинами та без для виготовлення дослідних зразків впливає на величину розривального навантаження за умови використання одного виду високоміцних ниток. Зокрема: при мінімальному рівні глибини кулірування та використанні pE ниток зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК (без платин) на РА (з платинами) призводить до зменшення міцності трикотажного матеріалу на 24,45% (рис. 4 а, б); при використанні pA ниток – на 15,4% (рис. 4 в, г).

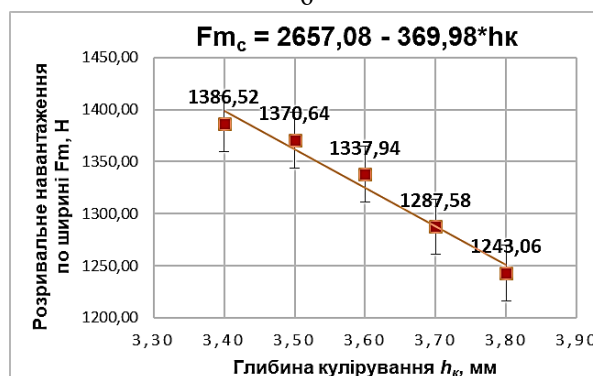
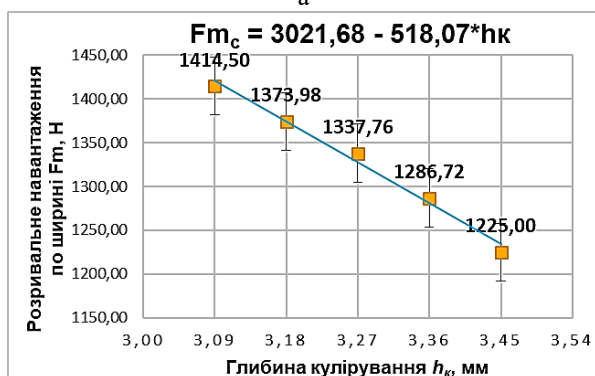
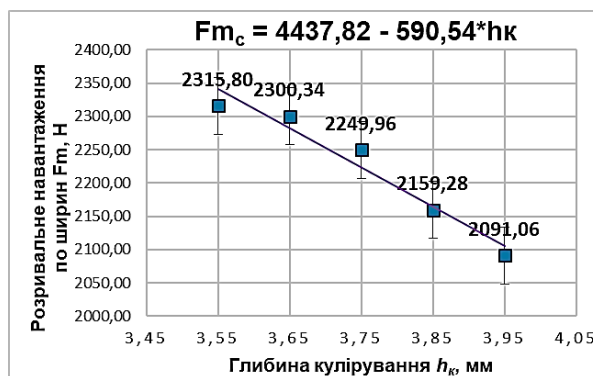
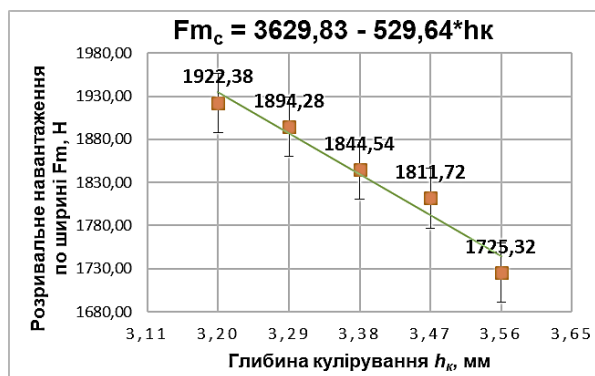


Рис. 5. Розривальне навантаження вздовж петельних рядів трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з UHMWPE нитки; в) з pA нитки з платинами типу РА; б) з UHMWPE нитки; г) з pA нитки

У разі прикладення розривального зусилля до трикотажного матеріалу вздовж лінії петельного ряду збільшення глибини кулірування при формуванні петель призводить до зменшення його міцності (рис. 5), що обумовлено характером опору матеріалу прикладеному розривальному зусиллю, який описано вище. Зменшення щільності в'язання полегшує розпуск петель під дією прикладеного розривального зусилля і відповідно за менший відрізок часу розриву опирається вже не трикотажний матеріал з точками переплетень, а прямолінійні відрізки ниток.

Графіки, наведені на рис. 5, наглядно ілюструють, що на величину розривального навантаження по ширині має вплив і вид високоміцних ниток, і тип плосков'язального обладнання. У разі використання рЕ ниток при мінімальній щільності в'язання використання плосков'язального обладнання з платинами дозволяє збільшити міцність на 84,4% (рис. 5, а, б), у разі рА ниток – лише на 17,87% (рис. 5 в, г). Це обумовлено формуванням зигзагоподібної будови петель в петельних стовпчиках у разі використання плосков'язального обладнання без платин при виробленні трикотажного матеріалу з рА ниток.

За умови мінімального рівня глибини кулірування використання рЕ ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) дозволяє збільшити величину розривального навантаження по ширині на 35,91% порівняно зі зразками з рА ниток (рис. 5 а, в). У разі використання плосков'язального обладнання з платинами (типу РА) зміна виду високоміцних ниток з рА на рЕ призводить до зростання величини розривального зусилля, яке витримує дослідний зразок трикотажного матеріалу по ширині, на 67,02% (рис. 5 б, г).

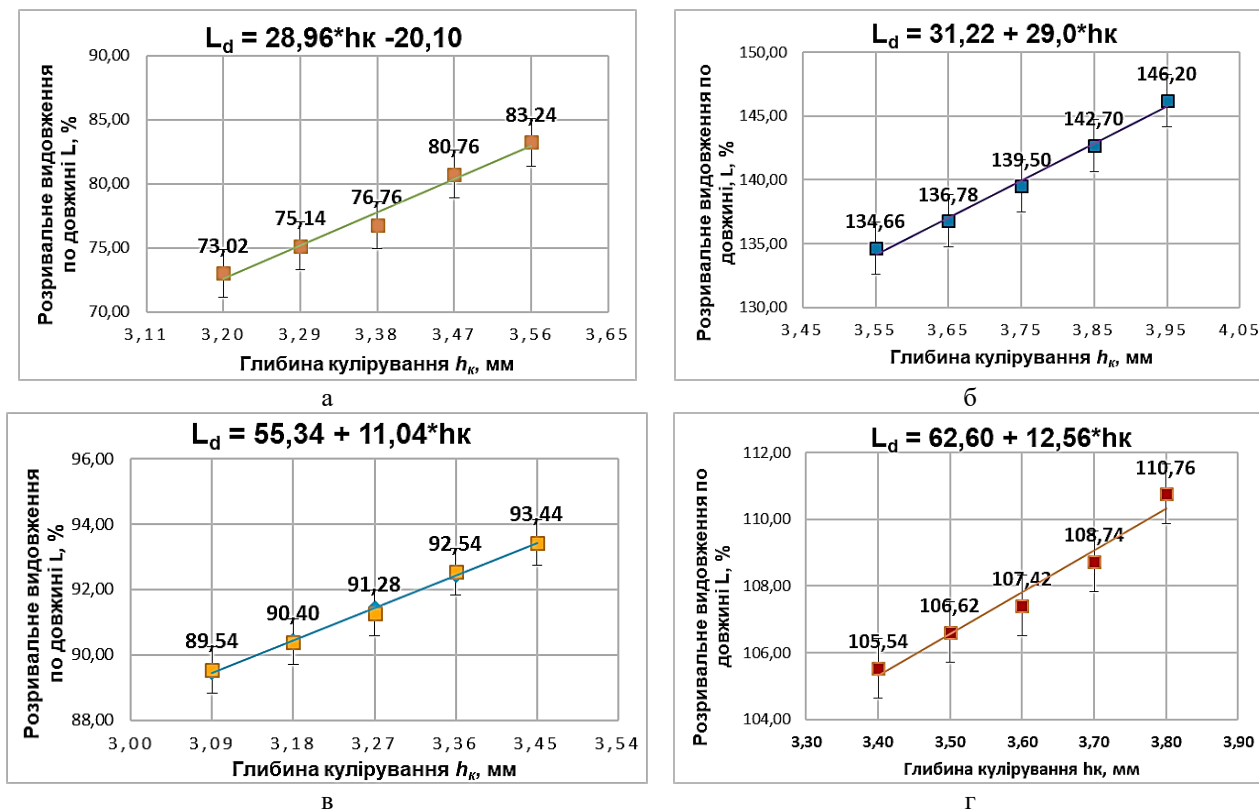
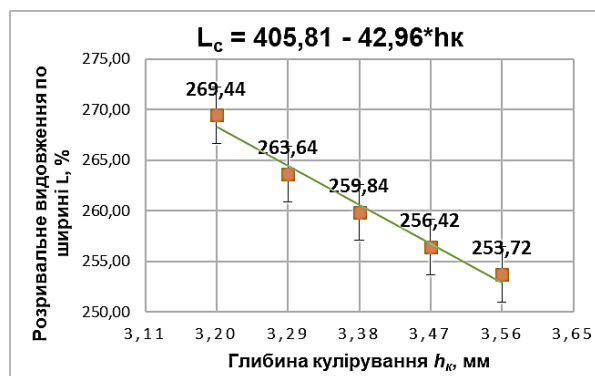


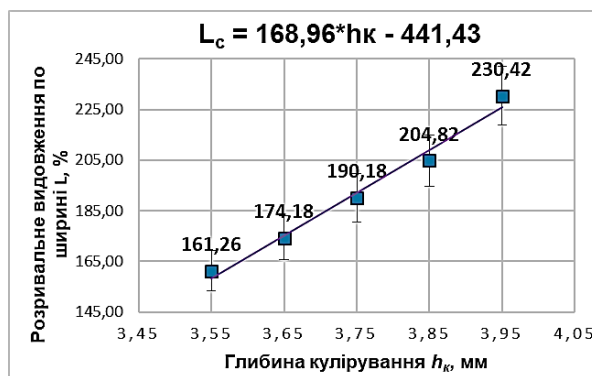
Рис. 6. Розривальне видовження вздовж петельних стовпчиків трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК:
 а) з УНМВРЕ нитки; в) з рА нитки з платинами типу РА;
 б) з УНМВРЕ нитки; г) з рА нитки

У ході дослідження впливу щільності в'язання на величину розривального видовження виявлено різний характер зміни у напрямку петельних стовпчиків рис. 6 та рядів рис. 7. Так у випадку досліджень проб вздовж петельних стовпчиків розривальне видовження зі збільшенням глибини кулірування при формуванні петель зростає (рис. 6). А у випадку напряму прикладання розривального зусилля вздовж петельних рядів у зразках з плосков'язального обладнання без платин (типу ПВРК) збільшення глибини кулірування призводить до зменшення величини розривального видовження (рис. 7 а, в). При виготовленні зразків на плосков'язальному обладнанні з платинами, зменшення щільності в'язання у заданому діапазоні призводить до зростання величини розривального видовження (рис. 7 б, г). Це можна пояснити різницею в орієнтації ниток в петлях трикотажного матеріалу на етапі їх формування. У разі участі у формуванні петель платин, відрізок нитки в петлі в області платинної дуги петлі має постійну задану величину, а збільшення глибини кулірування призводить до зростання величини відрізка нитки в області паличок петель. Саме цей факт і призводить до збільшення величини розривального видовження зі збільшенням глибини кулірування.

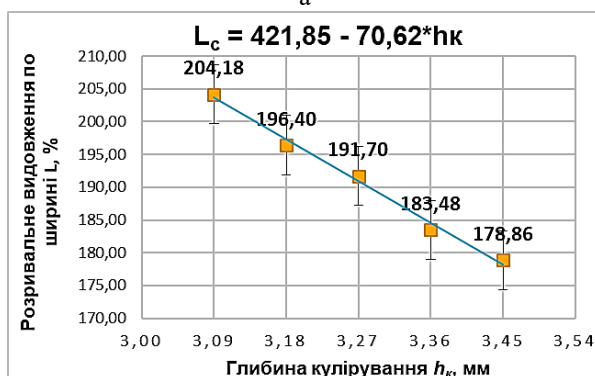
Як видно з графіків, наведених на рис. 6 а та б, при використанні рЕ ниток, зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК на РА за умови мінімальної глибини кулірування призводить до зростання розривального видовження по довжині на 84,42% внаслідок можливості перерозподілу нитки з платинних дуг петель в палички. У разі використання рА ниток, зміна типу плосков'язального обладнання призводить до зростання розривального видовження по довжині лише на 17,87% (рис. 6 в, г), що обумовлено зигзагоподібною будовою петель в петельних стовпчиках трикотажного матеріалу з рА ниток на машині без платин.



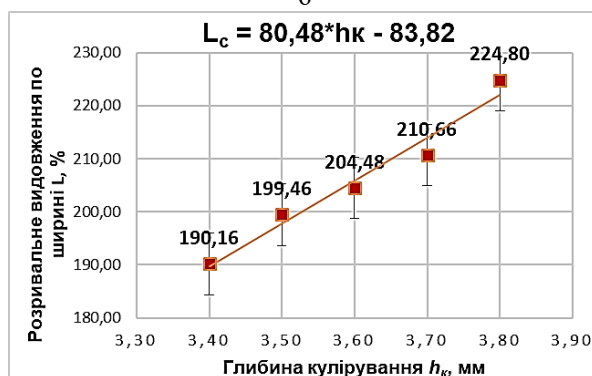
а



б



в



г

Рис. 7. Розривальне видовження вздовж петельних рядів трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з УНМВРЕ нитки; в) з рА нитки з платинами типу РА: б) з УНМВРЕ нитки; г) з рА нитки

Графіки, наведені на рис. 7, наглядно ілюструють, що характер зміни розривального видовження трикотажного матеріалу вздовж петельних рядів залежить не лише від виду високоміцних ниток, а й від типу плосков'язального обладнання: у разі виготовлення на машині без платин зменшується, а у випадку використання машини з платинами навпаки зростає. Зокрема, при використанні *pE* ниток розривальне видовження по ширині зі зміною плосков'язального обладнання з ПВРК на РА за умови мінімальної глибини кулірування зменшується на 40,15% (рис. 7 а, б), а у разі використання *pA* ниток – на 6,87% (рис. 7 в, г). Незначний вплив типу плосков'язального обладнання на величину розривального видовження обумовлений, як вже зазначалося, зигзагоподібною будовою петель у петельних стовпчиках трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин.

За умови мінімального рівня глибини кулірування використання *pE* ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) дозволяє збільшити величину розривального видовження по ширині на 31,96% порівняно зі зразками з *pA* ниток (рис. 7 а, в). У разі використання плосков'язального обладнання з платинами (типу РА) зміна виду високоміцних ниток з *pA* на *pE* навпаки призводить до зменшення величини розривального видовження дослідного зразка трикотажного матеріалу по ширині на 15,20% (рис. 7 б, г).

Цікавим також є співставлення величин питомого розривального навантаження та видовження на один петельний стовпчик чи ряд в залежності від напрямку розтягу. На рис. 8 та рис. 9 наведено діаграми питомого розривального навантаження та видовження, що припадає на один петельний стовпчик чи ряд трикотажного матеріалу, одержаного на плосков'язальному обладнанні з платинами та без в залежності від щільності в'язання.

Представлені діаграми наглядно ілюструють характер впливу типу в'язального обладнання та виду використаних надміцних ниток на величину питомого розривального навантаження та видовження. Величина питомого розривального навантаження в першу чергу обумовлена формою петель, що залежить не лише від фізико-механічних характеристик високоміцних ниток, а й від типу плосков'язального обладнання: з платинами чи без.

Як видно з рис. 8 а, у заданому діапазоні зміни щільності в'язання, питоме розривальне навантаження на один петельний стовпчик для дослідних зразків, вироблених з *pE* ниток на машині типу ПВРК без платин зростає на 41,24%, на машині з платинами типу РА – лише на 14,45%. У разі вироблення з *pA* ниток на машині типу ПВРК без платин зростає на 19,69, на машині типу РА з платинами – на 14,88% (рис. 8 в).

Аналіз зміни величини питомого розривального навантаження на один петельний ряд у заданому діапазоні зміни щільності в'язання дозволив з'ясувати, що у випадку використання *pE* ниток для зразків трикотажу, вироблених на машині без платин (типу ПВРК), зменшується на 4,46%, а у разі вироблення на машині з платинами (типу РА) навпаки зростає на 7,69% (рис. 8 б). У випадку використання *pA* ниток та машини без платин (типу ПВРК) зменшується на 8,96%, а у разі вироблення на машині з платинами (типу РА) навпаки зростає на 4,15% (рис. 8 г).

Як видно з діаграм, наведених на рис. 9, зміна щільності в'язання у заданому діапазоні має менш суттєвий вплив на питоме розривальне видовження на один петельний стовпчик в межах обраного виду обладнання та високоміцних ниток. Але зміна типу в'язального обладнання є впливовим фактором. Так при мінімальному рівні глибини кулірування зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК на РА призводить до зростання питомого розривального видовження вздовж петельних стовпчиків у випадку використання *pE* ниток у 2,55 рази, у випадку *pA* ниток – у 1,28 рази (рис. 9 а, в). Тобто різниця зменшується.

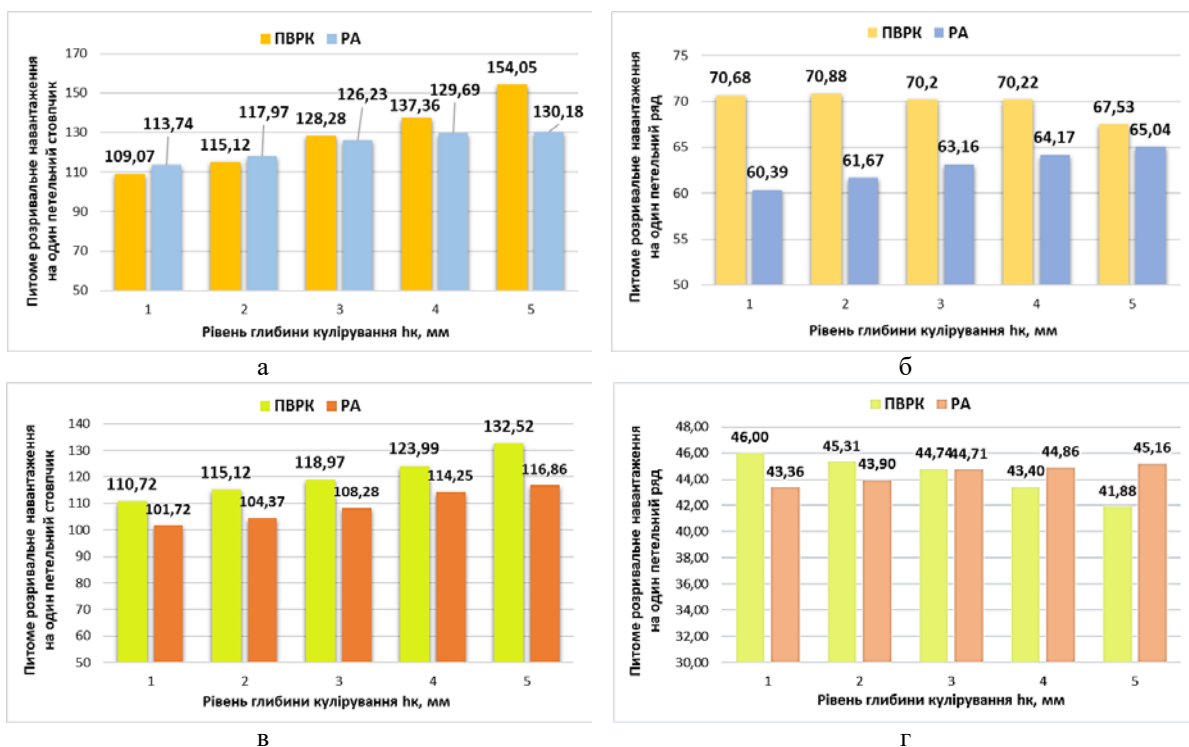


Рис. 8. Діаграми величини питомого розривального навантаження: а) на один петельний стовпчик; б) на один петельний ряд; для зразків з рА нитки: в) на один петельний стовпчик; г) на один петельний ряд

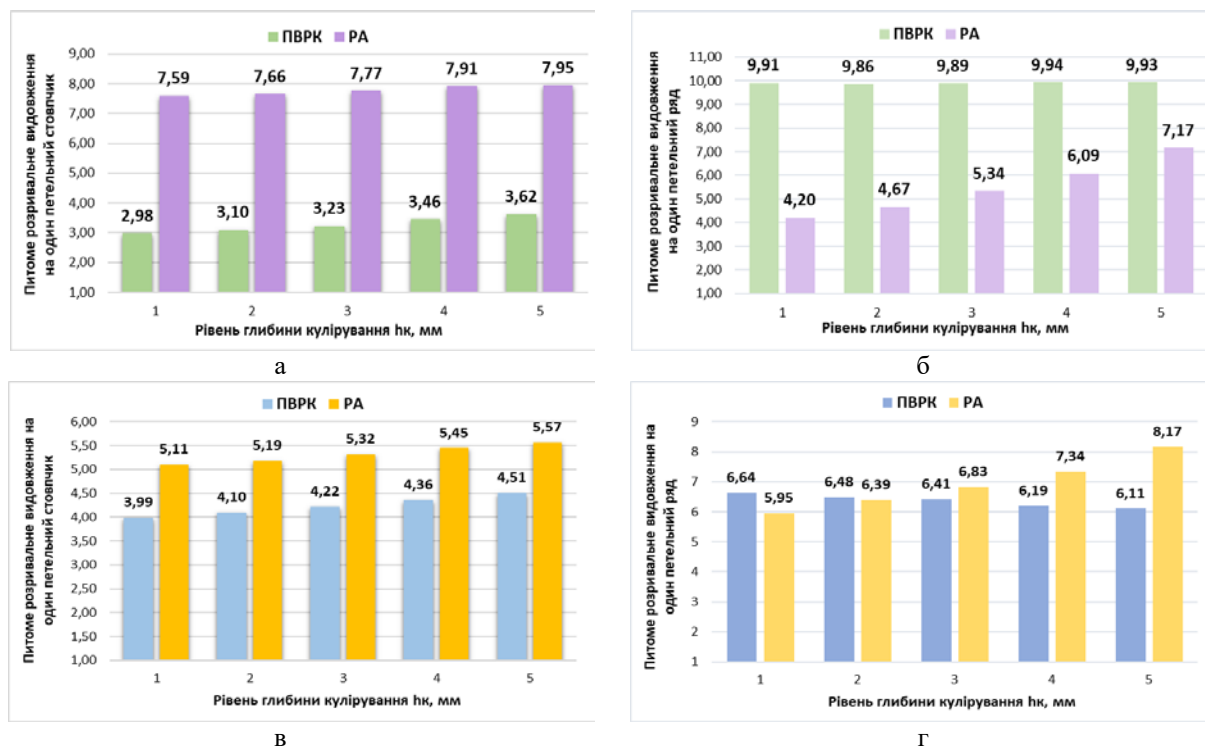


Рис. 9. Діаграми величини питомого розривального видовження: а) на один петельний стовпчик; б) на один петельний ряд; для зразків з рА нитки: в) на один петельний стовпчик; г) на один петельний ряд

У випадку використання рЕ ниток при мінімальному рівні глибини кулірування, зміна обладнання для виготовлення трикотажного матеріалу з машини типу ПВРК на машину типу РА призводить до зменшення питомого розривального видовження на один петельний ряд у 2,36 рази, у випадку використання рА ниток – до зменшення у 1,12 разів (рис. 9 б, г). Аналогічно, як і у випадку з величиною питомого розривального видовження на один петельний стовпчик, у разі використання пара-арамідних ниток різниця зменшується при зміні типу плосков'язального обладнання.

Висновок: Одержані у ході реалізації активного експерименту однофакторні регресійні математичні залежності дозволять у відповідності до обраних величини глибини кулірування нитки, типу плосков'язального обладнання з платинами чи без, визначати на етапі проєктування розривальні характеристики трикотажних матеріалів з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

У ході досліджень виявлено, що на величину розривального навантаження та видовження впливає тип обраного плосков'язального обладнання. Участь у процесі формування петель на плосков'язальній машині типу РА платин, обумовлює задану величину нитки в області платинної дуги петлі.

У разі переробки пара-арамідних ниток на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК, внаслідок прояву пружних властивостей зігнутого в петлю відрізка нитки, формується зигзагоподібна будова остовів петель у петельному стовпчику, що й обумовлює інший характер руйнування проби та вплив на величину розривального навантаження та видовження порівняно зі зразками трикотажних матеріалів з високомолекулярних поліетиленових ниток.

References

1. Ramakrishna, S. (1997). Characterization and modeling of the tensile properties of plain weft-knit fabric-reinforced composites. *Compos Sci Technol*, 57: 1–22.
2. Zhangyu, F. Z., Yanmo, C., Hairu, L. (2006). Effects of prestretching on the tensile properties of knitted glass fiber fabric reinforced polypropylene composite. *J Thermoplast Compos*, 19: 399–411.
3. Hepworth, B. (1978). The biaxial load-extension behavior of a model of plain weft-knitting-part I. *J Text Inst*, 69: 101–107.
4. Shanahan, W. J., Postle, R. (1974). A theoretical analysis of the tensile properties of plain-knitted fabrics. Part I: the load extension curve for fabric extension parallel to the courses. *J Text Inst*, 65: 200–212.
5. MacRory, B. M., McCraith, R., McNamara, A. B. (1975). The biaxial load-extension properties of plain weft-knitted fabrics- a theoretical analysis. *Text Res J*, 45: 746–760.
6. MacRory, B. M., McNamara, A. B. (1967). Knitted fabrics subjected to biaxial stress-an experimental study. *Text Res J*, 37: 908–911.

Література

1. Ramakrishna S. Characterization and modeling of the tensile properties of plain weft-knit fabric-reinforced composites. *Compos Sci Technol*. 1997. Vol. 57. P. 1–22.
2. Zhangyu F. Z., Yanmo C., Hairu L. Effects of prestretching on the tensile properties of knitted glass fiber fabric reinforced polypropylene composite. *J Thermoplast Compos*. 2006. Vol. 19. P. 399–411.
3. Hepworth B. The biaxial load-extension behavior of a model of plain weft-knitting-part I. *J Text Inst*. 1978. Vol. 69. P. 101–107.
4. Shanahan W. J., Postle R. A theoretical analysis of the tensile properties of plain-knitted fabrics. Part I: the load extension curve for fabric extension parallel to the courses. *J Text Inst*. 1974. Vol. 65. P. 200–212.
5. MacRory B. M., McCraith R., McNamara A. B. The biaxial load-extension properties of plain weft-knitted fabrics- a theoretical analysis. *Text Res J*. 1975. Vol. 45. P. 746–760.
6. MacRory B. M., McNamara A. B. Knitted fabrics subjected to biaxial stress-an experimental study. *Text Res J*. 1967. Vol. 37. P. 908–911.

7. Popper, P. (1966). The theoretical behavior of a knitted fabric subjected to biaxial stresses. *Text Res J*, 36: 148–157.
8. Hong, H. et al. (2002). Theoretical analysis of load-extension properties of plain weft knits made from high performance yarns for composite reinforcement. *Text Res J*, 72: 991–995.
9. Shanahan, W. J., Postle, R. (1974). A theoretical analysis of the tensile properties of plain-knitted fabrics part II: the initial load-extension behaviour for fabric extension parallel to the wales. *J Text Inst*, 65: 254–260.
10. Kurbak, A. (2017). Geometrical and mechanical modelings of dry relaxed slack plain knitted fabrics for the benefit of technical textile applications part I: a geometrical model. *Text Res J*, 87: 838–852.
11. Penava, Ž., Penava, D. Š., Miloš, L. (2020). Experimental and analytical analyses of the knitted fabric off-axes tensile test. *Textile Research Journal*, 91: 62–72. DOI: 10.1177/0040517520933701.
12. Ma, P., Jiang, G., Gao, Z., Zhang, Q., Xia, D. (2014). Tension and tear behaviors of co-woven-knitted fabric with photograph investigation. *Fibers and Polymers*, 15(2): 382–389. DOI: 10.1007/s12221-014-0382-x.
13. Bobrova, S. Yu., Halavska, L. Ye., Kulyk, A. A. (2018). Deformatsiini kharakterystyky trykotazhu pidvyshchenoi mitsnosti. [Deformation characteristics of high strength knitted fabrics]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Seriya Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series Technical sciences*, 6(128): 56–63. DOI: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2018.6.6> [in Ukrainian].
14. Mengge Jia, Mengjin W, Ruosi Yan, Xiaohong Ma, Sainan Wei, Wei Zhang (2020). Study on manufacturing and mechanical properties of UHMWPE knitted structural reinforcement in composites. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 446, 022048. DOI: 10.1088/1755-1315/446/2/022048.
15. Bobrova, S. Yu. (2018). Rozrobka trykotazhu dlia zakhystu ruk vid mekhanichnykh nebezpek. [Knitwear development for hand protection against mechanical hazards]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky = Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 5: 242–246 [in Ukrainian].
16. Leaf, G. A., Glaskin, A. (1955). The geometry of plain knitted loop. *J Text Inst*, 25: T587–T605.
7. Popper P. The theoretical behavior of a knitted fabric subjected to biaxial stresses. *Text Res J*. 1966. Vol. 36. P. 148–157.
8. Hong H. et al. Theoretical analysis of load-extension properties of plain weft knits made from high performance yarns for composite reinforcement. *Text Res J*. 2002. Vol. 72. P. 991–995.
9. Shanahan W. J., Postle R. A theoretical analysis of the tensile properties of plain-knitted fabrics part II: the initial load-extension behaviour for fabric extension parallel to the wales. *J Text Inst*. 1974. Vol. 65. P. 254–260.
10. Kurbak A. Geometrical and mechanical modelings of dry relaxed slack plain knitted fabrics for the benefit of technical textile applications part I: a geometrical model. *Text Res J*. 2017. Vol. 87. P. 838–852.
11. Penava Ž., Penava D. Š., Miloš L. Experimental and analytical analyses of the knitted fabric off-axes tensile test. *Textile Research Journal*. 2020. Vol. 91. P. 62–72. DOI: 10.1177/0040517520933701.
12. Ma P., Jiang G., Gao Z., Zhang Q., Xia D. Tension and tear behaviors of co-woven-knitted fabric with photograph investigation. *Fibers and Polymers*. 2014. Vol. 15 (2). P. 382–389. DOI: 10.1007/s12221-014-0382-x.
13. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Кулик А. А. Деформаційні характеристики трикотажу підвищеної міцності. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2018. № 6 (128). С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.30857/1813-6796.2018.6.6>.
14. Mengge Jia, Mengjin W, Ruosi Yan, Xiaohong Ma, Sainan Wei, Wei Zhang. Study on manufacturing and mechanical properties of UHMWPE knitted structural reinforcement in composites. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020. 446. 022048. DOI: 10.1088/1755-1315/446/2/022048.
15. Боброва С. Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 5. С. 242–246.
16. Leaf G. A., Glaskin A. The geometry of plain knitted loop. *J Text Inst*. 1955. Vol. 25. P. T587–T605.

17. Bueno, M.-A. (2008). Structure and mechanics of knitted fabrics. In: Schwartz P (ed.). *Structure and mechanics of textile fibre assemblies* (pp. 84–113). Cambridge: Woodhead Publishing.

18. DSTU EN ISO 13934-1:2018 Текstyl. Rozryvni vlastyvoli tkanyn. Chastyina 1. Vyznachennia maksimalnoho zusyillia ta vydovzhennia za maksimalnoho zusyillia metodom priamokutnoho shmatka [State Standard 13934-1:2018. Textiles. Tensile properties of fabrics. Part 1: Determination of maximum force and elongation at maximum force using the strip method]. EN ISO 13934-1:2013, IDT; ISO 13934-1:2013, IDT. Valid from 07/20/2018. Publication is official. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. 18 p.

19. Klochko, O. (2006). Doslidzhennia u trykotazhnii promyslovosti: navch. posibnyk dlia stud. vyshchykh navch. zakl. [Research in the knitted industry: study guide]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].

17. Bueno M.-A. Structure and mechanics of knitted fabrics. In: Schwartz P (ed.). *Structure and mechanics of textile fibre assemblies*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008. P. 84–113.

18. ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1. Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилля методом прямокутного шматка. (EN ISO 13934-1:2013, IDT; ISO 13934-1:2013, IDT). Чинний від 20.07.2018. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 18 с.

19. Клочко О. І. Дослідження у трикотажній промисловості: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. К.: КНУТД, 2006. 190 с.

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

DMYTRYK O. M, HALAVSKA L. Ye.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**STUDY OF THE INFLUENCE OF FLAT KNITTING EQUIPMENT TYPE
ON THE BREAKING LOAD AND ELONGATION OF KNITTED FABRIC
MADE FROM HIGH-STRENGTH THREADS**

Purpose. Study of the effect of changing of flat knitting equipment type (with or without sinkers) affects the strength characteristics of the knitted material of the plain interloping, made of high molecular weight polyethylene and para-aramid threads.

Methodology. The work is based on the theory of knitting, methods of analysis and synthesis of the obtained results, the use of the basics of textile material science. The resistance characteristics of the developed knitted material samples were determined using the KT-7010AZ electronic tearing machine and in accordance with standardized methodology. In order to identify the effect of knitting density on the amount of tensile load and elongation of the studied samples of knitted materials, the method of linear regression analysis was implemented in the traditional planning of an active experiment. The Microsoft Excel program was used to process the results of the experiment and draw graphs based on the average values of the indicators.

The results. In the course of the research, it was found that the type of flat knitting equipment affects the breaking characteristics of knitted material made from high molecular weight polyethylene and para-aramid threads, namely: the presence or absence of sinkers when forming loops. The participation of sinkers in the process of looping determines the formation of a given length of the thread in the area of the sinker of the loops. This, in turn, affects the tensile elongation of the knitted material. Samples of knitted material from

high molecular weight polyethylene threads showed better results in terms of resistance to the applied breaking force both in the direction of course and in the direction of wales. The value of the specific elongation at break per wale or course, in the case of producing knitted material on flat-knitting equipment without sinkers with a general takedown force of the fabric, a change in knitting density has a slight effect (up to 5%).

Scientific novelty. The nature of the influence of flat-knitting equipment type (with and without sinkers) on the strength characteristics of the knitted material of the plain interloping, made from high-molecular polyethylene and para-aramid threads, has been established.

Practical significance. The regression dependencies obtained during the experiment make it possible to determine the value of the breaking load and elongation of the knitted material of the plain interloping, made from high molecular weight polyethylene and para-aramid threads, in accordance with the selected type of flat knitting equipment and the knockover depth value.

Keywords: para-aramid thread; ultra-high molecular weight polyethylene thread; durable knitted material; plain interloping; breaking load; breaking elongation; flat knitting equipment.