

Київський національний університет технологій та дизайну  
Міністерство освіти і науки України

Київський національний університет технологій та дизайну  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ДМИТРИК ОКСАНА МИХАЙЛІВНА**

УДК: 677.075.3:620.17(043)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОМУ  
ОБЛАДНАННІ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ  
ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІД МЕХАНІЧНИХ УШКОДЖЕНЬ**

Спеціальність 182 Технології легкої промисловості  
Галузь знань 18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_ О.М. Дмитрик

Науковий керівник Галавська Людмила Євгеніївна  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2024

## АНОТАЦІЯ

*Дмитрик О. М.* Технологічні засади виготовлення на плосков'язальному обладнанні трикотажних матеріалів для захисту від механічних ушкоджень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 18 Виробництво та технології за спеціальністю 182 Технології легкої промисловості. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2024.

Дисертація присвячена технологічним засадам виготовлення на плосков'язальному обладнанні двох різних типів (з платинами та без) трикотажних матеріалів з високоміцних ниток із заданими параметрами структури та властивостями відповідно до обраних параметрів в'язання.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є формування технологічних засад виготовлення трикотажних матеріалів з ниток підвищеної міцності для захисту від механічних ушкоджень шляхом дослідження впливу особливостей процесу формування петель на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) на параметри структури та характеристики стійкості до дії механічних впливів (розривальне навантаження та видовження, прокол стержем, продавлювання кулькою, поріз циркулярним ножом).

Для досягнення зазначеної мети у роботі вирішені та виносяться на захист такі завдання досліджень:

- теоретично та експериментально дослідити особливості процесу формування петель трикотажного матеріалу з двох видів високоміцних ниток (пара-арамідні та високомолекулярні поліетиленові) на плосков'язальному обладнанні з платинами та без;

- встановити фактори, що впливають на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток до та після в'язання трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні двох типів;

- встановити закономірності впливу типу плосков'язального обладнання (з платинами чи без), щільності в'язання та виду надміцних ниток на параметри структури трикотажного матеріалу;

- встановити закономірності впливу типу плосков'язального обладнання (з платинами чи без), щільності в'язання та виду надміцних ниток на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії механічних ушкоджень (розрив, прокол стержнем, продавлювання кулькою та поріз циркулярним ножом);

- визначити раціональні параметри в'язання трикотажних матеріалів з високоміцних ниток із заданими показниками стійкості до дії механічних ушкоджень;

- розробити алгоритм та відповідне програмне забезпечення для проектування параметрів структури трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток у відповідності до обраного типу плосков'язального обладнання, виду високоміцних ниток та щільності в'язання.

**Об'єкт дослідження** – процес виготовлення на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) трикотажних матеріалів з високоміцних ниток для забезпечення захисту від дії механічних ушкоджень.

**Предмет дослідження** – трикотажні матеріали з пара-арамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток для захисту від механічних ушкоджень, вироблені на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без).

**Наукова новизна отриманих результатів.** Отримані у процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили сформулювати технологічні засади виготовлення на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) трикотажних матеріалів з високоміцних ниток для забезпечення захисту від дії механічних ушкоджень. При цьому:

- теоретично обґрунтовано вплив типу плосков'язального обладнання (з платинами та без) на процес формування петель трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток;

- встановлено вплив типу плосков'язального обладнання, виду високоміцних ниток та щільності в'язання на характеристики форми петель трикотажного матеріалу та одержано відповідні регресійні математичні залежності;

- виявлено фактори, що впливають на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток до в'язання та після їх переробки на двох різних типах плосков'язального обладнання (з платинами та без);

- встановлено регресійні математичні залежності, що описують вплив щільності в'язання на параметри структури трикотажного матеріалу та характеристики стійкості до дії механічних ушкоджень (розрив, прокол стержнем, продавлювання кулькою та поріз циркулярним ножом).

**Практичне значення отриманих результатів** роботи полягає у тому, що:

- сформовано технологічні засади виготовлення трикотажних матеріалів з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток на плосков'язальному обладнанні двох різних типів (з платинами та без);

- на основі одержаних регресійних математичних залежностей визначено раціональні параметри виготовлення трикотажного матеріалу, стійкого до дії механічних ушкоджень (розрив, прокол стержнем, продавлювання кулькою та поріз циркулярним ножом);

- розроблено алгоритм та відповідне програмне забезпечення для проектування параметрів структури, характеристик форми петлі та властивостей, що визначають стійкість розробленого трикотажного матеріалу до дії механічних ушкоджень у відповідності до обраного типу плосков'язального обладнання (з платинами чи без) та виду високоміцних ниток.

Окремі положення, висновки та рекомендації, представлені у дисертаційному дослідженні, знайшли практичне застосування в освітньому

процесі кафедри технології моди Київського національного університету технологій та дизайну, зокрема при опануванні аспірантами спеціальності 182 Технології легкої промисловості вибіркової освітньої компоненти «Наукові основи проектування та прогнозування характеристик виробів легкої промисловості».

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Наведено відомості щодо апробації роботи, особистого внеску здобувача та публікацій. Зазначено зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

У **першому розділі** наведено огляд робіт за тематикою дисертаційної роботи, а саме: узагальнено результати досліджень щодо переробки високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток на в'язальному обладнанні; вивчено досвід науковців у напрямку дослідження факторів, що впливають на стійкість текстильних матеріалів з високоміцних ниток до механічних впливів (прокол, прорізування і т.ін.); проаналізовано підходи до геометричного моделювання структури кулірного трикотажу та фактори, що впливають на форму петлі кулірного трикотажу. На підставі проведеного аналізу науково-технічної літератури визначено напрямок та основні задачі дослідження.

**Другий розділ** присвячений характеристиці матеріалів, особливостей технологічного обладнання та використаних у роботі методів дослідження; плануванню експериментальних досліджень з визначення впливу типу плосков'язального обладнання, виду високоміцних ниток та щільності в'язання на параметри форми петель трикотажного матеріалу, параметри його структури та властивості, що визначають стійкість до дії механічних впливів (розрив, прокол стержнем, продавлювання кулькою та поріз циркулярним ножом).

**Третій розділ** присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням впливу особливостей протікання процесу петлетворення на плосков'язальному обладнанні (з платинами та без) на форму петель

трикотажного матеріалу в залежності від виду надміцних ниток. Теоретично обґрунтовано поведінку поліетиленових та пара-арамідних ниток при їх взаємодії з робочими органами плосков'язального обладнання двох типів (з платинами та без). Експериментально встановлено фактори, які впливають на зміну форми петлі зі збільшенням глибини кулірування у процесі в'язання трикотажного матеріалу з двох видів високоміцних ниток. Шляхом реалізації активного експерименту одержано регресійні математичні залежності, що описують вплив зазначених факторів на зміну характеристик форми петлі.

**Четвертий розділ** присвячено визначенню факторів, що впливають на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток до в'язання та після їх переробки у трикотажний матеріал на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без); встановленню шляхом реалізації активного експерименту регресійних математичних залежностей, що описують вплив щільності в'язання на параметри структури трикотажного матеріалу та характеристики його стійкості до дії механічних ушкоджень (розрив, прокол стержем, продавлювання кулькою та поріз циркулярним ножом) у відповідності до обраного типу плосков'язального обладнання (з платинами або без) та виду надміцних ниток (високомолекулярна поліетиленова чи пара-арамідна).

У **п'ятому розділі** описано алгоритм та особливості роботи розробленої на основі встановлених регресійних математичних залежностей комп'ютерної програми розрахунку характеристик форми петлі, параметрів структури та властивостей трикотажного матеріалу, а також пошуку раціональних параметрів виготовлення трикотажного матеріалу відповідно до заданих параметрів його структури та показників стійкості до дії механічних ушкоджень.

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження відображено у 19 наукових працях, серед яких 9 статей у наукових фахових виданнях України категорії Б, 1 стаття у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 у збірнику матеріалів міжнародної конференції та 8 тез доповідей. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8-9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

**Ключові слова:** текстильний матеріал, механічні характеристики, промислове плосков'язальне обладнання, трикотажні матеріали підвищеної міцності, пара-арамідна нитка, високомолекулярна поліетиленова нитка, стійкість до проколювання, стійкість до прорізування, стійкість до продавлювання кількою.

## ANNOTATION

*Dmytryk O. M.* Technological principles of knitted fabrics manufacturing with the use of flat-knitting equipment for the protection against mechanical damage. – Qualifying scientific paperwork with the manuscript copyright.

The thesis for a Doctor of Philosophy in the field of knowledge 18 «Production and Technologies», a specialty 182 Consumer industry technologies – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2024.

The thesis is dedicated to technological principles of manufacturing of two types (with and without sinkers) of knitted materials from high-strength yarns with specified structure properties in accordance with the selected knitting parameters and with the use of flat-knitting equipment.

**The research purpose and objectives.** The purpose of the research is to form technological bases for manufacturing of knitted fabrics from high-strength yarns for the protection against mechanical damage by studying the influence of peculiarities of the loop formation process with the use of flat-knitting equipment of two types (with and without sinkers) on the structure parameters and characteristics of resistance to possible mechanical damage (such as a tensile load and elongation, piercing with a rod, pressing through with a ball or cutting with a circular knife).

to achieve this goal, the following research tasks have been solved and presented for the thesis defense;

- to theoretically and experimentally study peculiarities of the loop-forming process inherent in the knitted material manufactured from two types of high-strength threads (para-aramid and high-molecular weight polyethylene) with the use of flat-knitting equipment with and without platens;

- to establish factors which influence the loss of strength of high-molecular weight polyethylene and para-aramid yarns before and after manufacturing of knitted fabrics with the use of flat-knitting equipment of two types;

- to establish regularities of influence of the type of flat-knitting equipment (with or without sinkers), knitting density and the type of high-strength yarns on the structural parameters of knitted fabrics;

- to establish regularities of influence of the flat-knitting equipment type (with or without sinkers), knitting density and the type of high-strength yarns on the characteristics of knitted material resistance to mechanical damage (rupturing, piercing with a rod, pressing through with a ball or cutting with a circular knife);

- to determine rational parameters of manufacturing of knitted materials from high-strength threads with specified resistance to mechanical damage;

- to develop an algorithm and appropriate software for designing the parameters of the structure of knitted fabrics made of high-molecular weight polyethylene and para-aramid yarns in accordance with the selected type of flat-knitting equipment, high-strength threads and knitting density.

**The object of research** is the process of manufacturing of two types of knitted materials from high-strength yarns with the use of flat-knitting equipment (with and without sinkers) to provide protection against mechanical damage.

**The subject of research:** knitted materials made of para-aramid and high-molecular weight polyethylene yarns for the protection against mechanical damage that are manufactured with the use of flat-knitting equipment of two types (with and without sinkers).

**Scientific novelty of the results obtained.** The scientific results obtained in the course of the study made it possible to formulate the technological bases for the manufacture of two types of knitted materials made of high-strength yarns with the use



of flat-knitting equipment (with and without sinkers) to provide protection against mechanical damage. *At the same time:*

- the influence of peculiarities of the loop-forming process inherent in the knitted material manufactured from two types of high-strength yarns (para-aramid and high-molecular weight polyethylene) with the use of flat-knitting equipment with and without platens was theoretically substantiated;

- regression mathematical dependencies describing the effect of knitting density on the characteristics of the shape of the knitted fabric loops in accordance with the selected type of flat-knitting equipment were detected;

- the factors affecting the strength loss of high-molecular weight polyethylene and para-aramid yarns before knitting and after their processing with the use of two different types of flat-knitting equipment (with and without sinkers) were identified;

- regression mathematical dependencies describing the effect of knitting density on the parameters of the knitted material structure and characteristics of resistance to mechanical damage (rupturing, piercing with a rod, pressing through with a ball or cutting with a circular knife) were established.

**The practical significance of the obtained results is that:**

- technological bases for the manufacture of knitted materials made of high molecular weight polyethylene and para-aramid yarns with the use of flat-knitting equipment of two different types (with and without sinkers) were formed;

- on the basis of the obtained regression mathematical dependencies, the rational parameters for the manufacture of knitted fabrics resistant to mechanical damage (rupturing, piercing with a rod, pressing through with a ball or cutting with a circular knife) were determined;

- an algorithm and corresponding software for designing the parameters of the structure, characteristics of the loop shape and properties that determine the resistance of the manufactured knitted material to mechanical damage in accordance with the selected type of flat-knitting equipment (with or without sinkers) and the type of high-strength threads were created.

Some provisions, conclusions and recommendations presented in the thesis

research have been practically implemented in the educational process of the Department of Fashion Technology of the Kyiv National University of Technology and Design in particular, in the course of mastering by post-graduate students of the elective educational component ‘Scientific bases for designing and predicting the characteristics of light industry products’ by postgraduate students within 182 «Consumer industry technologies» specialty.

**The introduction** substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the purpose and objectives of the study and identifies the scientific novelty and practical value of the results obtained. The information is provided on the work’s approbation, the applicant’s personal contribution and relevant publications. The connection of the work with scientific programs and topics has been indicated.

**Chapter 1** provides an overview of the works related to the subject of the dissertation, namely: summarizes the results of research on the processing of high-molecular weight polyethylene and para-aramid threads with the use of appropriate knitting equipment; studies the experience of scientists in the field of researching the factors which affect the resistance of textile materials made of high-strength yarns to mechanical damage (puncturing, piercing, etc.) as well as analyzes approaches to the geometric modelling of the structure of knitted fabrics and factors influencing the shape of the loop of such materials. On the basis of the analysis of scientific and technical literature, the direction and key tasks of the study were determined.

**Chapter 2** focuses on materials’ characteristics, features of technological equipment and research methods used in the work; planning experimental studies to determine the effect of the type of flat-knitting equipment, the type of high-strength threads and knitting density on the parameters of the shape of the loops inherent in the knitted fabric, the parameters of its structure and the properties that determine the resistance to mechanical damage (rupturing, piercing with a rod, pressing through with a ball or cutting with a circular knife).

**Chapter 3** is devoted to theoretical and experimental studies of the influence of the peculiarities of the loop-forming process conducted with the use of flat-knitting equipment (with and without sinkers) on the shape of knitted fabric loops, depending

on the type of high-strength yarns. The behavior of polyethylene and para-aramid threads in their interaction with the working bodies of the flat-knitting equipment of two types (with and without sinkers) was theoretically substantiated. The factors that affect the change in a loop shape with the increase in stitch camming when manufacturing knitting materials made of two types of high-strength yarns were experimentally established. By means of the implementation of an active experiment, regression mathematical dependencies describing the influence of the aforesaid factors on changing the properties of a loop shape have been obtained.

**Chapter 4** is devoted to the determination of factors affecting the strength loss of high-molecular weight polyethylene and para-aramid threads before knitting and after their processing into knitted material with the use of flat-knitting equipment of two types (with and without sinkers); establishing through the implementation of an active experiment of mathematical dependencies that describe the effect of knitting density on the parameters of the knitted material structure and the characteristics of its resistance to mechanical damage (rupturing, piercing with a rod, pressing through with a ball or cutting with a circular knife) in accordance with the selected type of flat-knitting equipment (with or without platens) and the type of high-strength yarns (high-molecular weight polyethylene or para-aramid ones).

**Chapter 5** describes the algorithm and features of the manufacturing process developed on the basis of the established regression mathematical dependencies of a computer program for calculating the characteristics of the loop shape, parameters of the structure and properties of the knitted material, as well as the search for rational configurations for the manufacture of knitted fabrics in accordance with the stated parameters of its structure and indicators of resistance to mechanical damage.

**Publications.** The main provisions and results of the dissertation research are reflected in 19 scientific papers, including: 9 articles in scientific professional publications of Ukraine of the 'B' category, 1 article in the publication included in the international scientometric Scopus database; 1 in the collection of materials of an international conference and 8 abstracts. The scientific publications meet the requirements of clauses 8-9 of the 'Procedure for awarding the Doctor of Philosophy

degree and canceling the decision of a one-time specialized academic council of a higher education institution, scientific institution on awarding the degree of Doctor of Philosophy’, approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 44 of 12 January 2022.

**Keywords:** knitted fabric, textile material, mechanical properties, industrial flat-knitting equipment, high-strength knitted material, para-aramid threads, high-molecular-weight polyethylene threads; resistance to piercing, resistance to rupturing, resistance to pressing through with a ball.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Наукові праці, у яких відображені основні наукові результати дисертації

1. Боброва С. Ю., Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 4. С. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.4.5>. Особистий внесок: постановка та реалізація експериментальних досліджень, формулювання висновків.

2. Дмитрик О. М., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Дослідження розривальних характеристик комплексної пара-арамідної нитки. *Технології та інжиніринг*. 2022. № 6. С. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.6>. Особистий внесок: постановка та реалізація експериментальних досліджень, формулювання висновків.

3. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Вплив технологічних факторів одержання трикотажу з високоміцних ниток на форму петель та параметри його структури. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 5. С. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.6>. Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.

4. 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. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.2.8>. *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

5. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Боброва С. Ю. Опір різанню трикотажного матеріалу, виробленого з високоміцних ниток на плосков'язальному обладнанні з платинами та без. *Індустрія моди*. 2024. № 2, С. 43–59. DOI: 10.30857/2706-5898.2024.2 *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

6. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Харченко Ю. М. Вплив типу плосков'язального обладнання на показники стійкості трикотажного матеріалу з високоміцних ниток до дії механічних ушкоджень (прокол стержнем, продавлювання кулькою). *Технології та інжиніринг*. 2024. № 3 (19). С. 81–98. DOI: 10.30857/2786-5371.2024.3. *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

#### **Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

7. Дмитрик О. М., наук. кер. Галавська Л. Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на форму петель трикотажу з сировини підвищеної міцності. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVII Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ)*. Київ: КНУТД, 2018. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 266–267. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11920> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних*

*досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

8. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності параарамідних ниток після в'язання. *Молодь - науці і виробництву 2019: Інноваційні технології легкої промисловості*: мат. міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених (16-17 травня 2019 р., Херсон). Херсон: ХНТУ, 2019. С. 49–51. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14521> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

9. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Дослідження впливу виду надміцної сировини на показники втрати міцності після в'язання. *Збірник матеріалів III міжнар. наук.-практ. конф текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (31 жовтня 2019 р., Київ). Київ : КНУТД, 2019. С. 257–261. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14811> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, формулювання висновків.*

10. Дмитрик О. М., наук. кер. Галавська Л. Є. Дослідження впливу особливостей виконання операції кулірування на плосков'язальному обладнанні на якість петельної структури трикотажу, виробленого з параараміної нитки у поєднанні з металевою монопниткою. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі*: тези доповідей XVIII Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів (18-19 квітня 2019 р., Київ). Київ: КНУТД, 2019. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 221–222. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13641> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

11. Галавська Л. Є., Прохоровський А. С., Швиданенко О. А., Дмитрик О. М. Впровадження інноваційних технологій виготовлення речового майна

військовослужбовців. *Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України*: зб. тез доповідей II Всеукр. наук.-практ. конф. (30 квітня 2021 р., м. Харків). Харків: НАНГУ, 2021. С. 5–8. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19037> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: проведення аналізу наукової літератури за напрямом досліджень, постановка завдань досліджень.*

12. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. Study of factors influencing loss of strength of high molecular weight polyethylene threads. *Збірник матеріалів V Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (21 жовтня 2021 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2021. С. 89–91. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19106>. *Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

13. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. The influence of knitting parameters on the parameters of the structure and shape of the loop of knitted material from high-strength threads. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (20 жовтня 2022 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2022. р. 56–58 URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/21269> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

14. Галавська Л., Боброва С., Дмитрик О. Аналіз показників якості текстильних матеріалів військового призначення, що визначають їх захисні характеристики від механічних небезпек. *Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні Херсонщини* : мат. міжнар. наук.-практ. конф. (ХНТУ, 26–28 квітня 2023 р.). Т. 1 Одеса : Олді+, 2023. С. 443–446 URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/24993> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: проведення аналізу наукової літератури за напрямом досліджень, постановка завдань досліджень.*

15. Halavska L., Dmytryk O. Influence of technological factors on the loop formation and structure parameters of knitwear made on glove knitting machine. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн-технологій KyivTex&Fashion* (м. Київ, 19 жовтня 2023 р.). Київ: КНУТД, 2023. С. 213–215.

URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25443> (дата звернення: 13.06.2024).

*Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

### **Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

16. Ielina T., Halavska L., Mikucioniene D., Milasius R., Bobrova S., Dmytryk O. Development of 3D Models of Knits from Multi-Filament Ultra-Strong Yarns for Theoretical Modelling of Air Permeability. *Materials*. 2021. № 14 (13). 3489. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14133489>. *Особистий внесок: проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, виготовлення дослідних зразків з високоміцних ниток.*

17. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу в'язального обладнання на показники втрати міцності поліетиленових та параарамідних ниток після в'язання. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. Т. 1. № 1 (72). С. 89–96. DOI: [doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.9](https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.9). *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів.*

18. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу плосков'язального обладнання на петельну структуру трикотажу, виробленого з сировини підвищеної міцності та у поєднанні з металевою монопниткою. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 1 (281). С. 98–104. DOI 10.31891/2307-5732-2020-281-1-98-104. *Особистий внесок: постановка та проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, узагальнення одержаних результатів.*



19. 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. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.4.12>. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів.*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	21
<b>РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	25
1.1 Аналіз обраних видів надміцної сировини.....	25
1.1.1 Характеристика високомолекулярних поліетиленових волокон.....	25
1.1.2 Характеристика високоміцних пара-арамідних волокон.....	28
1.2 Аналіз наукових праць, присвячених переробці високоміцних ниток у текстильні матеріали.....	29
1.2.1 Аналіз наукових праць, присвячених вивченню питання втрати міцності високоміцних ниток під час їх переробки на технологічному обладнанні.....	31
1.2.2 Аналіз досліджень у напрямку створення трикотажних матеріалів з високоміцних ниток на в'язальному обладнанні різних типів.....	33
1.2.3 Аналіз наукових праць, присвячених дослідженню механічних характеристик текстильних матеріалів з високоміцних ниток: розривальне зусилля, прокол стержнем, продавлювання кулькою, прорізування.....	36
1.3 Аналіз методів геометричного моделювання та факторів, що впливають на форму петлі кулірного трикотажу.....	46
1.4 Аналіз сучасних досліджень у напрямку вивчення поведінки високоміцних ниток при їх переробці на технологічному обладнанні та прогнозування механічних характеристик одержаного трикотажного матеріалу.....	50
<b>Висновки до розділу 1</b> .....	54
<b>Список використаних джерел до розділу 1</b> .....	55
<b>РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	69
2.1 Характеристика обраних видів високоміцних ниток для виготовлення дослідних зразків трикотажних матеріалів.....	69
2.2 Характеристика обраних типів плосков'язального обладнання.....	70
2.3 Методи дослідження параметрів та властивостей текстильних матеріалів..	71
2.3.1 Методи визначення параметрів петельної структури трикотажного матеріалу.....	72

2.3.2 Методи визначення стійкості трикотажних матеріалів до дії механічних ушкоджень: розривальне зусилля, прокол стержнем, продавлювання кулькою, прорізування .....	72
2.4 Характеристика обладнання для визначення розривального навантаження та видовження, проколу стержнем та продавлювання кулькою.....	77
2.5 Характеристика обладнання для визначення стійкості прорізуванню дисковим лезом.....	78
2.6 Планування експериментальних досліджень на двох типах плосков'язального обладнання .....	78
<b>Висновки до розділу 2.....</b>	<b>80</b>
<b>Список використаних джерел до розділу 2 .....</b>	<b>81</b>
<b>РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУ ПЕТЕЛЬ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК.....</b>	<b>83</b>
3.1 Дослідження особливостей процесу формування петель на різних типах плосков'язального обладнання.....	83
3.2 Теоретичні засади впливу типу плосков'язального обладнання (з платинами та без) на процес формування петель трикотажного матеріалу з високоміцних ниток.....	93
3.2.1 Визначення геометричних та інерційних характеристик пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток.....	93
3.2.2 Визначення натягу при взаємодії пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток з робочими органами плосков'язальної машини.....	107
3.2.3 Вплив умов виробництва трикотажного матеріалу з пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток на плосков'язальному обладнанні різних типів (з платинами та без) на форму петлі .....	111
3.3 Встановлення впливу технологічних факторів одержання трикотажного матеріалу з високоміцних ниток на форму петель .....	114
<b>Висновки до розділу 3.....</b>	<b>134</b>
<b>Список використаних джерел до розділу 3 .....</b>	<b>137</b>

<b>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПАРАМЕТРИ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИКОТАЖНОГО МАТЕРІАЛУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК.....</b>	<b>139</b>
4.1 Дослідження факторів, що впливають на міцність вихідної сировини.....	139
4.2 Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності ниток, перероблених у трикотажний матеріал.....	146
4.3 Експериментальні дослідження впливу типу плосков'язального обладнання та виду високоміцних ниток на параметри структури кулірного трикотажу ...	150
4.4 Дослідження технологічних засад виготовлення трикотажних матеріалів з високоміцних ниток на їх механічні характеристики .....	160
4.4.1 Дослідження розривального навантаження та видовження розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток .....	160
4.4.2 Дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток до продавлювання кулькою.....	174
4.4.3 Дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток до проколу стержнем .....	182
4.4.4 Дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток до прорізування циркулярним ножом .....	189
<b>Висновки до розділу 4.....</b>	<b>194</b>
<b>Список використаних джерел до розділу 4 .....</b>	<b>198</b>
<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК ТА ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....</b>	<b>201</b>
<b>Висновки до розділу 5.....</b>	<b>218</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>219</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>222</b>

## ВСТУП

### **Актуальність теми та її зв'язок із планами науково-дослідних робіт.**

Сфери застосування синтетичних волокон з кожним днем розширюються завдяки їх унікальним фізичним, термічним та хімічним властивостям, що обумовлюють функціональне призначення готових текстильних виробів. Питання вибору сировини є визначальним для отримання заданих властивостей захисних текстильних матеріалів та виробів від різного роду небезпек – екологічних, кліматичних, механічних тощо. У виробництві захисного текстилю від механічних загроз в усьому світі найбільш затребуваними беззаперечно залишаються пара-арамідні та високомолекулярні поліетиленові нитки, які випускаються виробниками під різними торговими марками. Дані види сировини мають свою специфіку переробки на технологічному обладнанні та потребують вивчення факторів, що впливають на втрату їх міцності, параметри структури та фізико-механічні характеристики текстильних матеріалів, одержаних на їх основі.

Повномасштабне вторгнення росії на територію України спричинило зростання попиту на текстильні матеріали підвищеної міцності для формування речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців. Через порушення внаслідок війни логістичних зв'язків у постачанні імпортних захисних текстильних матеріалів виникла потреба у налагодженні їх власного виробництва. Наразі трикотажні підприємства внаслідок відсутності технологій та певного досвіду переробки високоміцних ниток на в'язальному обладнанні не наважуються започаткувати вітчизняне виробництво трикотажних матеріалів для виготовлення засобів індивідуального захисту від механічних ушкоджень.

З огляду на це, дисертаційне дослідження, направлене на формування технологічних засад виготовлення на плосков'язальному обладнанні трикотажних матеріалів з сировини підвищеної міцності для забезпечення захисту від механічних ушкоджень, є надзвичайно актуальним на даний час.

### **Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт.**

Дисертація виконана у рамках українсько-литовського науково-дослідного білатерального проєкту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім - PERPROKNIT)», за пріоритетним напрямом «Технології оборонного спрямування» (2020-2021 рр.), який виконувалась спільно з науковцями факультету інженерної механіки та дизайну Каунаського технологічного університету. Реєстраційний номер 0120U103797, Договір М/27-2020 від 14.08.2020 р., обсяг фінансування у 2020 р. – 110 тис. грн. Реєстраційний номер: 0121U113770, Договір М/72-2021 від 19.11.2021р., обсяг фінансування у 2021 р. – 165 тис. грн. Керівник проєкту: д.т.н., проф. Галавська Л.Є.. Особистий внесок полягає у формуванні технологічних засад виготовлення трикотажних матеріалів з ниток підвищеної міцності на різних типах плосков'язального обладнання: з платинами та без них.

Дисертаційне дослідження також виконано у рамках науково-дослідної роботи з державним фінансуванням 16.04.73 ДБ «Розробка багатофункціональних трикотажних полотен та виробів для формування речового майна та тактичного спорядження військовослужбовців» (2021-2022 рр.), номер державної реєстрації 0121U109756, обсяг фінансування 516,581 тис. грн. Керівник НДР: д.т.н., проф. Галавська Л.Є.. Авторський внесок полягає у розробці трикотажних матеріалів, стійких до механічних ушкоджень, та встановленні факторів, що впливають на втрату міцності ниток після в'язання трикотажного матеріалу на тому чи іншому типі плосков'язального обладнання та його властивості.

### **Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.**

Представлені у дисертації положення, концептуальні засади, структура, постановка завдань та їх вирішення, результати реалізації експериментальних досліджень, статистичної обробки та інтерпретації отриманих регресійних залежностей, узагальнені висновки є результатом реалізації авторських ідей та самостійно виконаної наукової праці.

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення та результати дисертації доповідались, обговорювались та здобули позитивну оцінку на XVII Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення» (26-27 квітня 2018 р., Київ, КНУТД); на міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молодь - науці і виробництву - 2019: Інноваційні технології легкої промисловості» (м. Херсон, 16-17 травня 2019 року); на III Міжнародній науково-практичній конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (31 жовтня 2019 р., м. Київ, КНУТД); на XVIII Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення» (18-19 квітня 2019 р., Київ); на II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України» (м. Харків, 30 квітня 2021 р.); на V Міжнародній науковій конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (21 жовтня 2021 р., м. Київ, КНУТД); на VI Міжнародній науковій конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (м. Київ, 21 жовтня 2022 р., КНУТД); на Міжнародній науково-практичній конференції «Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні Херсонщини» (ХНТУ, 26–28 квітня 2023 р.); на VII Міжнародній науково-практичній конференції текстильних та фешн-технологій KyivTex&Fashion (м. Київ, 19 жовтня 2023 року, КНУТД).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 19 наукових праць, в яких повністю відображені основні результати дисертації, з них 9 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 1 стаття у періодичному науковому виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, 1 у збірнику матеріалів міжнародної конференції, та 8 тез доповідей. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу

вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44). У публікаціях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать основні ідеї, теоретичне обґрунтування, результати експериментів та їх обробка, узагальнення результатів та висновки, результати наукових досліджень, виконаних безпосередньо здобувачем у рамках виконання дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів з висновками та списком використаних літературних джерел, загальних висновків та додатків. Основну частину дисертації викладено на 221 сторінках друкованого тексту, у тому числі 71 рисуноків, 38 таблиць, 41 формулу, додатки становлять 19 сторінок. Повний обсяг дисертації складає 240 сторінки.



# РОЗДІЛ 1

## СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Аналіз обраних видів надміцної сировини

В умовах, коли країна перебуває у стані повномасштабної війни, основною метою є забезпечення життя та здоров'я людей. Наявність якісних захисних текстильних матеріалів дозволяє уникнути травмування внаслідок механічних впливів колючих та ріжучих предметів при виконанні різного характеру робіт. Для виготовлення текстильних матеріалів із заданими характеристиками захисту від дії механічних ушкоджень використовують високоміцні нитки. Проте, такі види сировини мають свою специфіку переробки на технологічному обладнанні та потребують вивчення факторів, що впливають на формування структури текстильного матеріалу та його рівень стійкості до механічних впливів різного характеру.

Питання вибору сировини є визначальним для отримання заданих властивостей захисних текстильних матеріалів та виробів від різного роду небезпек – екологічних, кліматичних, механічних тощо. У виробництві захисного текстилю від механічних загроз в усьому світі найбільш затребуваними беззаперечно залишаються пара-арамідні та високомолекулярні поліетиленові волокна, які випускаються виробниками під різними торговими марками.

#### 1.1.1 Характеристика високомолекулярних поліетиленових волокон

Високомолекулярний поліетилен є одним із видів термопластичного полімеризованого етилену. Візуально матеріал нічим не відрізняється від інших видів пластику. Він не має запаху, смаку і нетоксичний, легко можна надати будь-якого забарвлення. Разом з тим він володіє властивостями, які виділяють його серед інших полімерів.

Високомолекулярний поліетилен (*UHMWPE*) – це твердий матеріал з високою міцністю. Він може витримувати великі навантаження, не вбирає вологу, тому не взаємодіє зі шкірою людини та виглядає слизьким. Крім того, він має високу зносостійкість (більше, ніж сталь) і низький коефіцієнт тертя.

Основною характеристикою цього полімеру з високою молекулярною масою є його довгий молекулярний ланцюг, що орієнтований в одному напрямку, та розташований майже паралельно один одному, саме цим пояснюється міцність матеріалу. Хоча високомолекулярний поліетилен утворює довгі ланцюги, зв'язки між окремими молекулами слабкі. Цей показник на порядок нижче пара-арамідного волокна, не менш міцного матеріалу. Ця властивість робить полімер не термостійким — він плавиться при температурі 144°C. За складом поліетилен не містить складних ефірів, амінів або гідроксильних груп, що робить матеріал сприйнятливим до хімічної активності та агресивного середовища. Таким чином, речовина не піддається впливу води, вологи, корозійних агентів, мікроорганізмів і УФ-променів.

Існує ряд компаній, які випускають високомолекулярний поліетилен під своїми торговими марками: Dyneema (DSM, Нідерланди), Spectra (Honeywell, США), Tensylon (DuPont, США), Doyentrontex (Beijing Tongyizhong, Китай), Izanas (Тоубо, Японія) та інші.

Зазначені волокнисті матеріали демонструють найвище відношення міцності до маси з усіх відомих. Технологія виготовлення в кожному випадку унікальна, і тому кожен із цих матеріалів має відмінні від інших характеристики. Найбільш ефективними зразками волокон на основі високомолекулярного поліетилену, що обрані країнами Заходу як основні для виробництва балістичного захисту, є Dyneema та Spectra [20].

Кардинальний винахід Dyneema у 1967 році заклав початок десятиліттям наукових інновацій і розробці понад 40 інноваційних продуктів. І всі вони мають одну спільну рису: неперевершену силу. Кожен сорт має свій власний унікальний набір властивостей, будь то захист від повзання, стійкість до порізів, балістичний захист або багато інших характеристик [1]. Волокно торгової марки

Дупеета запатентоване фірмою DSM у 1979 році. Для його виробництва використовується поліетилен надвисокої молекулярної маси, за допомогою якого можна створити унікальний синтетичний матеріал, який поєднує в собі вологостійкість, малу вагу і неймовірну міцність, перевершуючи завдяки складним методам обробки міцність сталі в 15-20 разів, а міцність арамідного волокна – на 40%. За нормальних умов молекулярне розташування цього матеріалу є невпорядкованим. У волокні Дупеета молекулярна орієнтація досягає 95%, а кристалічність вище 85%. Ще одна перевага порівняно зі сталевими та поліамідними дротами полягає в тому, що Дупеета має майже нульову розтяжність.

Наприкінці 90-х років компанія Honeywell представила ще одну не менш важливу технологію – волоконну технологію НМРЕ. Техніка передбачає використання розкручених волокон, які розщеплюються на макроскопічному рівні та утримуються в заданому напрямку сполучною речовиною. Рівень балістичного захисту можна істотно підвищити за допомогою односпрямованої нетканої технології з перехресним покриттям. З винаходом технології виробництва гелевих волокон НМРЕ компанія Honeywell (Allied Fibers) комерціалізувала випуск волокон, які в 10 разів міцніші за сталь, легші за воду та мають нелінійні в'язкопружні властивості. Завдяки своєму хімічному складу поверхня волокна фактично інертна до багатьох хімічних речовин, з якими правоохоронці та солдати можуть зіткнутися на полі бою [2].

Третьою технологією, яка була винайдена в середині 90-х, була технологія формування. У цьому методі високий тиск використовується для ущільнення об'єму волокон у формованому об'єкті. Завдяки вищій концентрації пакету волокон, а також в'язкопружним властивостям технології волокна НМРЕ можна зменшити вагу броні вогнепальної зброї М80 майже на 50%. Це суттєва різниця з вагою броні, яка зараз використовується для зупинки цього типу куль. Формовані вироби складаються зі 100% армованого волокном композиту без керамічного покриття [3].

### 1.1.2 Характеристика високоміцних пара-арамідних волокон

Пара-арамід (pA) являє собою високоефективне полімерне волокно, яке має виняткові механічні, фізичні та хімічні властивості, включаючи високу питому міцність, термічну стабільність і ударостійкість, в'язкість, легкість і гнучкість [22]. Його покращені властивості зробили ці матеріали придатними для багатьох галузей промисловості, і вони вважаються чудовим кандидатом для виробництва сучасних засобів індивідуального захисту [4–6, 22–25].

Найбільш відомі виробники пара-арамідних волокон походять від торгових назв Kevlar® (DuPont) і Twaron® (Teijin Aramid), які отримують із парафенілендіаміну та терефталоїлхлориду в суміші N-метилпіролідону та хлориду кальцію. Кевлар спочатку був отриманий Стефані Кволек, хіміком з Америки, яка працювала в DuPont, у 1964 році, а вже на початку 70-х років почалося його виробництво. Волокна виготовляються при низьких температурах шляхом поліконденсації в розчині. Цей матеріал значно перевершує нейлон за всіма параметрами і на даний момент є провідним виробником різних модифікацій пара-арамідних волокон, ці волокна популярні серед розробників захисного балістичного одягу в багатьох країнах. Синтетичне волокно кевлар має більш високу міцність (у 5 разів більше, ніж сталь), а також низьку масу та щільність. Він має високе співвідношення міцності до ваги, високий модуль жорсткості, низьку електропровідність, низький коефіцієнт теплового розширення, високу вогнестійкість (втрата міцності починається після дії тепла до 430°C), високу хімічну стійкість, не схильний до корозії та стає міцнішим у середовищі з низькою температурою. Гранична розтяжність кевлару становить від 2,6 до 4,1 ГПа. Однак, усі пара-араміди чутливі до фотодеградації та потребують захисту від прямих сонячних променів. [21].

Пізніше у кевлара з'явилися конкуренти з арамідного сімейства полімерів – це Twaron, створений компанією Akzo Nobel, а також група радянських матеріалів – ТСВМ, Русар, Армос і ін. [7]. За своїми захисними властивостями ці матеріали приблизно однакові, але відрізняються за вартістю, якістю, характеристиками волокон та ниток на їх основі. Виробники завжди намагаються

підвищити функціональні можливості волокон. Наприклад, деякі модифікації волокна Twaron під час виробництва мають спеціальне просочення та обробку, що забезпечує його захист від вологи при тривалому впливі води.

На початку 2000-х років в Японії був розроблений новий тип волокна під назвою PBO, типовим представником якого був матеріал Zylon. Zylon® PBO – це ізотропний кристалічний полімер із жорстким стержнем, утвореним сухим струменем, який формується за допомогою процесу сухоструменевого мокрого прядіння. Існує два різновиди волокон: стандартні волокна AS і високомодульні волокна HM. Волокна PBO є відносно недавнім доповненням до сімейства високоефективних волокон для балістичних жилетів. Виробники пропонують наступні переваги Zylon: висока міцність і модуль пружності, вогнестійкість, термостабільність, стійкість до повзучості та хімічну стійкість. Незважаючи на вищу вартість і обмежену пропозицію цих волокон, їхні виняткові балістичні можливості привели до нового рівня якості м'якої броні. Наразі доступна обмежена інформація щодо їх використання. Кілька компаній США, які спеціалізуються на виробництві жилетів, намагалися монетизувати свою продукцію, використовуючи тканину з PBO та неткані односпрямовані балістичні матеріали з перехресним шаром. Цей матеріал значно виграв у порівнянні з кевларом з точки зору балістичної стійкості, однак його ефективність в реальних умовах показала, що він нестійкий до впливу ультрафіолету та інших факторів зовнішнього середовища, а його захисні властивості з часом погіршуються. Крім того, зниження броньових властивостей склало 20-25%, як наслідок, цей тип матеріалу все ще має обмежене застосування [8].

## **1.2 Аналіз наукових праць, присвячених переробці високоміцних ниток у текстильні матеріали**

Сфери застосування синтетичних волокон з кожним днем розширюються завдяки їх унікальним фізичним, термічним та хімічним властивостям, що

обумовлюють функціональне призначення готових текстильних виробів. Тому сировина підвищеної міцності є предметом досліджень вчених всього світу. Науковці у своїх наукових працях [9–11] для визначення властивостей ниток підвищеної міцності та вивчення впливу різноманітних факторів на їх зміну використовують різноманітні способи. Якщо говорити про комплексні багатофіламентні пара-арамідні та високомолекулярні поліетиленові нитки, то слід зазначити, що кожний з цих видів сировини має свою низку переваг. Зокрема, поліетиленові нитки стійкі до дії вологи та не втрачають своєї міцності в умовах експлуатації виробів. Пара-арамідні нитки краще себе зарекомендували у виготовленні текстильних матеріалів ткацького способу виробництва для військового екіпірування. Однак недоліком даного виду високоміцної сировини є його схильність до деструкції внаслідок теплових впливів.

Високоміцні поліетиленові нитки завдяки своїм фізико-механічним характеристикам широко використовуються у виробництві захисних текстильних матеріалів для забезпечення захисту від дії механічних ушкоджень колючих та ріжучих предметів [12]. Зокрема це бронежилети прихованого типу, захисні рукавички та нарукавники, наколінники, налокітники тощо. Для вказаної групи виробів у якості текстильного матеріалу використовують переважно трикотаж.

Завдяки достатньо малій густині речовини високомолекулярного поліетилену [13, 14], значно вищим питомій міцності та питомому модулю ніж у інших високоефективних волокон [15, 16], чудовій абразивній та корозійній стійкості, ударостійкості, стійкості до низьких температур, стійкості до розтягування та дії світлопогоди [16, 17], низькому подовженню при розриві, гарному поглинанню енергії та стійкості до зсуву, поліетиленові нитки широко використовуються у навігаційній, аерокосмічній техніці (хвіст і крило), військовому оборонному спорядженні (захисний костюм, шолом) і спортивних товарах (тенісна ракетка, бойова дошка) тощо. В останні роки дослідники виявили, що в'язані структури з хорошою розтяжністю та високою міцністю на розрив можна також використовувати у якості армуючого наповнювача

композиційних матеріалів [18, 19]. В'язані арматурні підсилення в структурі композиційних матеріалів здатні забезпечити задану об'ємну форму поверхні.

Авторами роботи [20] узагальнено світовий досвід щодо проведення науковцями досліджень механічних та фізичних властивостей високомолекулярного поліетилену. На підставі викладеного у даній роботі огляду літературних джерел можна зробити висновок, що питання поведінки поліетиленових ниток вивчається доволі давно (сама рання робота датована 1963 роком). Але незважаючи на тривалий відрізок часу та велику кількість досліджень, науковий напрям не втрачає своєї популярності внаслідок розширення сфер застосування даного виду сировини.

У зв'язку з розширенням сфер використання постійно зростає її обсяг виробництва та іншого виду високоміцних текстильних матеріалів – пара-арамідних (pA) волокон [21]. Основні переваги пара-арамідних волокон, що дозволяють їх використовувати для виготовлення широкого асортименту спеціальних захисних виробів, засобів індивідуального захисту та елементів захисту автомобільної, авіаційної та іншої техніки, – підвищена міцність, висока зносостійкість, стійкість до порізів, вогню, високих температур, корозії, органічних та хімічних розчинників [21]. Функціональні властивості даних волокон роблять текстильні матеріали на їх основі привабливими кандидатами для виробництва сучасних засобів індивідуального захисту, у тому числі й балістичного захисту [23–25].

### **1.2.1 Аналіз наукових праць, присвячених вивченню питання втрати міцності високоміцних ниток під час їх переробки на технологічному обладнанні**

Одним із факторів, що впливає на втрату міцності текстильного матеріалу з високоміцних ниток, є процес його виготовлення. За час сходження нитки з бобіни та проходження усіх робочих органів в'язального обладнання, сировина піддається деформаціям та частковому руйнуванню (одиначних філаментів).

Питаннями втрати міцності високоміцних ниток, а саме: високомолекулярного поліетилену та пара-араміду, перероблених у трикотажний матеріал на плоскофанговому обладнанні типу ПВРК займалася Безсмертна [26]. Дослідження втрати міцності у процесі в'язання проведено лише на плосков'язальному обладнанні без платин, що не дає можливість дати оцінку впливу участі платин під час формування петель та відсутності загального зусилля відтягування на втрату міцності обраних видів високоміцних ниток.

У роботі [27] висвітлено результати досліджень міцності ниток після їх переробки на в'язальному обладнанні у вигляді прямолінійного відрізка затискної довжини 500 мм у відповідності до стандартизованої методики, а також у вигляді петлі, утвореної з двох взаємно переплетених ниток зі зміною кута їх обхвату. Різний кут обхвату ниток дозволяє змоделювати навантаження на нитки в структурі трикотажу при його розтягуванні. Однак автори використовують у своїх дослідженнях традиційні для трикотажної галузі види сировини.

Авторами іншої роботи [28] на підставі проведених досліджень зазначено, що максимальний вплив на величину розривального навантаження на нитку після переробки на в'язальному обладнанні має її лінійна густина, а на втрату міцності – зусилля відтягування полотна. Для виготовлення дослідних зразків трикотажного матеріалу з високоміцних ниток використано плоскофангове обладнання, на якому зусилля відтягування полотна забезпечувалося за допомогою тягарців.

Роботи [29–32] присвячені дослідженню втрати міцності пара-арамідних ниток у процесі ткацтва. Авторами виявлено, що нитки основи значно більше деформуються і втрачають свою міцність порівняно з нитками утоку, оскільки у процесі формування зіву, в який прокладається утокова нитка, вони більше контактують з робочими органами ткацького верстата, що зумовлює руйнування окремих філаментів. Проте, одержані результати можуть бути використані лише для прогнозування втрати міцності тканих текстильних матеріалів, які за своєю будовою не дають ниткам вільно переміщуватися в структурі та призводять до



додакового руйнування окремих філаментів. Натомість у разі трикотажного способу виготовлення текстильного матеріалу, нитка у процесі петлетворення зазнає розтягуючих зусиль, тертя та деформації вигину внаслідок постійного переміщення у ході огинання робочих органів в'язальних машин. Крім того, після формування петель під дією зусилля відтягування полотна нитки в петлях переміщуються з голкових та платинних дуг у палички та навпаки. Тертя нитки об нитку, що виникає у точках переплетення, обумовлює часткове руйнування окремих філаментів та втрату її міцності.

Авторами роботи [32] оцінюється механічна поведінка високомолекулярних поліетиленових ниток після впливу раптових осьових навантажень. Вплив умов навантаження на структурну цілісність ниток оцінюють за допомогою випробувань на розтяг, втому та повзучість до та після удару. З використанням скануючої електронної мікроскопії встановлено, що нитки мають тенденцію випрямлятися після удару, тоді як внаслідок поздовжньої деформації спостерігається зменшення їх діаметра.

Результати дослідження стійкості високоміцних ниток до розриву під впливом леза, що змінює кут, висвітлено у роботі [34]. Авторами зазначеної роботи запропоновано вимірювати стійкість до розрізання високоміцних ниток в умовах навантаження на розтяг-зсув шляхом натискання леза ножа в поперечному напрямку на нитку, затиснуту на кінцях з постійною швидкістю її поздовжнього переміщення. Отримані результати дозволяють теоретично змодельовати балістичну реакцію тканин на гострі осколки, а також прогнозувати стійкість до механічних ушкоджень ріжучими предметами захисних рукавичок та одягу, вироблених з високоміцних ниток.

### **1.2.2 Аналіз досліджень у напрямку створення трикотажних матеріалів з високоміцних ниток на в'язальному обладнанні різних типів**

Різноманіття сфер використання трикотажних матеріалів підвищеної міцності з кожним роком зростає, що пов'язано з появою нових видів надміцної

сировини та технічними можливостями в'язального обладнання. Однак, питання впливу особливостей технологічних процесів в'язального обладнання та властивостей сировини на показник втрати міцності та фізико-механічні властивості трикотажного матеріалу вивчено недостатньо.

Дослідженню впливу параметрів в'язання трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових ниток на його структурні характеристики присвячена робота [35]. Авторами висвітлено досвід переробки вказаного виду сировини на сучасному плосков'язальному обладнанні Stoll CMS 330 10 класу. Встановлено вплив глибини кулірування на параметри структури трикотажу переплетення гладь. Однак відсутні відомості щодо характеру зміни форми петель, втрати міцності нитки внаслідок зміни параметрів в'язання трикотажу. Не висвітлено також питання впливу особливостей процесу петлетворення на форму петель.

Шляхом реалізації активного експерименту на плосков'язальній машині Stoll CMS 330 у роботі [36] встановлено вплив глибини кулірування на параметри структури трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток переплетенням виворітний ластик. Однак відсутні відомості щодо впливу технологічних параметрів процесу в'язання трикотажу на форму петель та втрату міцності ниток, з яких його вироблено.

Авторами роботи [37] встановлено закономірності впливу глибини кулірування, лінійної густини пара-арамідної нитки та зусилля відтягування полотна на втрату міцності нитки у процесі її переробки у трикотажну структуру на в'язальному обладнанні. Однак у ході досліджень не акцентується увага впливу обраних факторів на форму петель та параметри структури трикотажу, що обумовлюють рівень розривального зусилля вихідної сировини.

Вивченню в'язальної здатності високомолекулярної поліетиленової нитки при її переробці в структуру подвійних кулірних переплетень (ластик 1+1, комбіноване на базі ластик та гладі) присвячена робота [38]. При цьому відомості щодо впливу структури обраних переплетень на форму петель відсутні.

У роботі [39] висвітлено особливості переробки високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини 132 текс на плосков'язальному автоматі ПА-8-33 з платинами та плоскофанговій машині типу ПВРК без платин 8 класу з введенням у структуру у вигляді футерних накидів еластомерної нитки типу спандекс 100 текс. 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.

Авторами роботи [40] сформульовано переваги та недоліки переробки високомолекулярної поліетиленової нитки на двох типах плосков'язального обладнання (з платинами та без), що відрізняються за принципом виконання окремих операції, таких як відтягування полотна та формування петель. Однак, відсутній аналіз особливостей процесу петлетворення на обраних двох типах плосков'язального обладнання, що може мати визначальний вплив на формоутворення петель, параметри структури трикотажного матеріалу та втрату міцності ниток у їх переробки.

Також широкого застосування набувають дослідження [41, 42] з виготовлення захисних виробів з *pA* пряжі, яку одержано шляхом поєднання первинних та перероблених з відходів *pA* волокон. Це обумовлено тим, що дані волокна не розкладаються, а при їх утилізації шляхом спалювання утворюються токсичні гази, що завдає шкоди довкіллю. Авторами роботи [41] у результаті випробувань доведено, що за стійкістю до порізів рукавички, виготовлені з пряжі з суміші первинних і перероблених *pA* волокон (50:50) не поступаються рукавичкам, виготовленим з пряжі з первинних *pA* волокон. Це вказує на доцільність вторинної переробки *pA* волокон при виготовленні на їх основі пряжі. Однак у нашому випадку ми маємо справу з комплексною багатофіламентною пара-арамідною ниткою, яка має відмінну від пряжі будову та характер руйнування під дією розтягуючих зусиль.

У роботі [43] висвітлено результати досліджень впливу структури трикотажного матеріалу на його механічні властивості (розтяг, розрив і прокол). Авторами досліджено чотири види трикотажних матеріалів переплетень гладь, інтерлок, швейцарське піке та двовиворітна гладь, вироблених з високомолекулярного поліетилену на комп'ютеризованій плосков'язальній машині STOLL CMS 530 HP. Представлені результати вказують на очевидні переваги переплетення інтерлок перед іншими структурами в різних механічних експериментах. Однак при цьому слід зауважити, що не вивчено питання впливу щільності в'язання на досліджувані характеристики трикотажних матеріалів. Крім того, переплетення інтерлок є більш матеріалоемним, що обумовить при подальшому використанні трикотажного матеріалу даної структури збільшення ваги деталей виробу для захисту віх механічних ушкоджень.

Наукова робота [44] спрямована на розробку надміцних трикотажних полотен для засобів індивідуального захисту, які використовуються для захисту від механічних пошкоджень. Авторами розроблено та виготовлено дослідні зразки з використанням високомолекулярних поліетиленових ниток з введенням в структуру трикотажного матеріалу додаткової еластомерної нитки у вигляді футерних накидів. У ході досліджень виявлено, що еластомерна нитка вплинула не тільки на міцність та еластичність трикотажу, а також і на механічні властивості, такі як: розривальне навантаження та видовження, стійкість до стирання, роздирання, прорізування та проколу. Однак у роботі відсутні відомості щодо особливостей формоутворення петель.

### **1.2.3 Аналіз наукових праць, присвячених дослідженню механічних характеристик текстильних матеріалів з високоміцних ниток: розривальне зусилля, прокол стержнем, продавлювання кулькою, прорізування**

Текстильні матеріали з високоміцних ниток знайшли своє широке застосування у виготовленні екіпірування для військовослужбовців. Зокрема куленепробивний текстиль використовується для виготовлення бронежилетів,

жилетів з м'якою бронею, панелей, шоломів, масок, захисних комплектуючих для захисту шиї, плечей, паху [45, 46]. При цьому на першому місці знаходяться текстильні матеріали з високоміцних ниток для виготовлення бронежилетів. Саме тому найбільшу кількість наукових досліджень присвячено встановленню фізико-механічних характеристик текстильних матеріалів з використанням високоміцних ниток з позиції забезпечення ними балістичного захисту.

Так у роботі [21] авторами представлено огляд матеріалів для виготовлення бронежилетів як засобів індивідуального захисту. Порівняльний аналіз показав, що на сьогодні найкращими властивостями щодо міцності володіє текстильна броня типу «кевлар». У майбутньому його можуть випередити матеріали на основі таких наноматеріалів, як графен, вуглецеві нанотрубки, наноцелюлоза, які за ударостійкістю та вагою значно перевершують і кевлар, і доевтектоїдну сталь. Однак у такому випадку висувуються особливі вимоги до підкладок, які повинні ефективно гасити енергію удару, запобігаючи появі тильних травм.

Авторами іншої роботи [47] здійснено огляд матеріалів, методів виготовлення бронежилетів різних типів та наукових праць щодо підвищення поглинання балістичної енергії.

У роботах [48–54] висвітлено результати дослідження текстильних матеріалів з високоміцних ниток до дії розривального зусилля, проколу, прорізування. Оскільки від фізико-механічних характеристик таких матеріалів залежить життя та здоров'я людини, спостерігається тенденція щодо постійного розвитку технології виготовлення та проведення досліджень функціональних властивостей одержаних матеріалів та пошуку найбільш надійного захисту.

Дослідженню впливу різноманітних факторів на ушкодження поверхні тканих структур з пара-арамідних ниток присвячено роботу [55]. Авторами з'ясовано, що такі тканини є ефективною структурою для різних застосувань, особливо для гнучких і м'яких конструкцій бронежилетів, завдяки їх хорошим ударним і формувальним характеристикам. Однак для подальшого використання

даних тканих структур у броньованих системах слід попередньо також дослідити вплив параметрів ткацтва на їх ударну поведінку.

Автори роботи [56] порушили питання захисту відкритих кінцівок військовослужбовців з метою мінімізації ваги виробу та максимального захисту. Висунуто гіпотезу щодо доцільності використання одно- та двошарових шарів пара-арамідної ткані структури, включених в одяг, з метою забезпечення певного захисту від поранень осколками. У дослідженні використано пара-арамідне полотно ткані структури та осколок що імітує снаряд, мета полягала в тому, щоб з мінімальним збільшенням жорсткості, маси та термічного опору забезпечити збільшення рівня захисту відкритих ділянок. Автори зазначають що, використання таких тканин, включених в одяг, може забезпечити певний захист від поранень осколками.

Автори роботи [57] досліджено стійкість до прорізування, проколу та стирання гібридних тканих пара-арамідних полотен, виготовлених із гібридної пряжі, що складається зі штапельних пара-арамідних волокон з різними співвідношеннями серцевина/оболонка різних філаментів у їхній структурі. Результати показали, що зменшення співвідношення серцевина/оболонка гібридної пряжі призводить до збільшення ваги й товщини та, як наслідок, забезпечує покращення стійкості до прорізування, стирання та проколів.

Моделюванню руйнування тканини, що піддається балістичному удару, з використанням кінцевоелементної моделі тканини з індивідуально змодельованими нитками присвячена робота [58]. Це перше у світі повністю перевірене та прогнозоване ймовірнісне моделювання руйнування тканини. Однак слід зауважити, що характер руйнування буде іншим у разі використання трикотажних структур, що обумовлено перерозподілом нитки в структурі трикотажного матеріалу під дією силових навантажень внаслідок балістичного удару.

Усі вищеперераховані наукові дослідження проведено з використанням тканих матеріалів з високоміцних ниток, тому всі висновки неможливо використати до трикотажних структур, які мають інший метод виготовлення та

відповідно будову й фізико-механічні характеристики. В теперішній час трикотаж набуває все більшої популярності внаслідок схильності структури трикотажного матеріалу до кращого прийняття заданої форми об'єкта, який підлягає захисту. Це в свою чергу потребує додаткових досліджень щодо вивчення впливу структури трикотажного матеріалу та виду використаних ниток до дії різноманітних механічних ушкоджень.

Розширення технічних сфер використання трикотажних матеріалів обумовило доцільність вивчення їх поведінки під дією розтягуючих зусиль з метою пошуку оптимальних рішень [59, 60]. 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 [61–66]. Властивості трикотажних полотен також досліджувалися при дії сили у напрямку петельних стовпчиків [67]. Автор роботи [68] 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 [69] 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 з стандартизованих методів випробувань.

У роботі [70] розглянута поведінка розтягування та розриву нового виду матеріалу, який поєднує в собі ткану та трикотажну структури. 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 [71] 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 до уваги як фактор впливу на характеристики міцності трикотажного матеріалу.

Робота [72] присвячена дослідженню розривних характеристик трикотажних матеріалів з високомолекулярного поліетилену різних видів переплетень: гладь, двовиворітна гладь, інтерлок та швейцарське піке. Аналіз випробувань дозволив виявити, що трикотажний матеріал, вироблений подвійним переплетенням інтерлок внаслідок особливостей структуроутворення демонструє найбільший опір розриву та найменше видовження.



Як відомо, трикотажний матеріал з фізичної точки зору є анізотропною структурою з еластичними властивостями [73]. Авторами роботи встановлено, що зв'язок між прикладеним зусиллям та деформацією розтягу не є лінійним [74]. 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.

Для оцінки стійкості текстильного матеріалу до дії механічних ушкоджень використовують наступні показники: стійкість до проколу стержнем, продавлювання кулькою та прорізування лезом ножа. Для визначення зазначених показників існують стандартизовані методи випробувань, що дозволяють встановити рівень захисту текстильного матеріалу та його відповідність цільовому призначенню. Як вже зазначалося, на показники стійкості трикотажного матеріалу до дії механічних ушкоджень впливає багато факторів, вивчення характеру впливу яких сприятиме створенню текстильних матеріалів із заданими властивостями. Актуальність даного напрямку досліджень серед наукової спільноти обумовлена потребою в сучасних текстильних матеріалах, стійких до дії механічних ушкоджень.

Авторами роботи [75] 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 порівняти одержані результати.

Робота [76] присвячена дослідженню впливу виду сировини шарів двошарового трикотажного матеріалу та структури переплетення шару, до якого прикладене перфорируюче 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 [77] досліджено стійкість до проколу розробленого трикотажного ауксетик-матеріалу з введеними у структуру утковими 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 тією ж довжиною нитки в петлі. Результати показують, що ауксетичний утковий трикотаж має вищі пікове навантаження та здатність до поглинання енергії при квазістатичному навантаженні. У ході досліджень виявлено, що квазістатичний опір удару ауксетичного трикотажного полотна посилюється зі збільшенням швидкості проколу, але мало змінюється після того, як швидкість проколу досягає певного значення (50 мм/хв).

Робота [78] 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 стержем найвищі результати опору демонструють двошарові пакети трикотажних матеріалів, при продавлюванні кулькою - трикотажні матеріали, вироблені з використанням поліетиленових ниток.

У роботі [79] 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 вплив наявність дефектів петельної структури.

Авторами іншої роботи [80] проведено порівняльний аналіз стійкості до прорізування, проколу та стирання трикотажного матеріалу та тканиї структури, виготовлених з кевлару, поліетилену та у поєднанні їх у структурі 50/50. Встановлено, що поєднання двох видів сировини в одній структурі збільшує

стійкість текстильного матеріалу до прорізування. Виявлено, що тканий текстильний матеріал завдяки своїй більшій щільності ниткової структури демонструє вищу стійкість до прорізування порівняно з трикотажним. Автори зауважують, що на опір різанню впливає товщина текстильного матеріалу.

Робота [81] присвячена дослідженню впливу введення у трикотажну структуру двох видів кулірних переплетень (гладь та ластик 1×1) металеві мононитки на стійкість до прорізування текстильного матеріалу. Для проведення випробувань авторами використано інший метод, що відрізняється від стандартизованого, де стійкість до прорізування визначається кількістю циклів зворотно-поступальних рухів у горизонтальній площині леза до моменту прорізування. Тиск леза ножа на зразок трикотажного матеріалу складав 30 кг. Таким чином, забезпечується відмінний від існуючого стандартизований характер взаємодії текстильного матеріалу з лезом ножа. У роботі наведено результати опору різанню (кількість циклів) лише вздовж лінії петельного стовпчика, де руйнуванню піддаються голкові та платинні дуги петель та вздовж лінії петельного ряду, де руйнуванню піддаються прямолінійні відрізки паличок остовів петель. Встановлено, що вздовж лінії петельного стовпчика переплетення гладь витримує більшу кількість циклів до моменту прорізування, тоді як вздовж лінії петельного ряду переплетення ластик. У результаті, зразки з поліетиленової нитки демонструють найбільшу кількість циклів опору різанню. При цьому не виявлено суттєвого впливу на кількість циклів опору різанню внаслідок введення у структуру трикотажного матеріалу металеві мононитки.

Авторами роботи [82] досліджено стійкість до прорізування та проколу трикотажних матеріалів різних структур, виготовлених з різних видів надміцної сировини. Встановлено, що наявність в структурі трикотажу витягнутих пресових петель сприяє підвищенню рівня стійкості до прорізування та проколу. При цьому авторами виявлено, що рівень стійкості до проколу стержнем обумовлений структурою переплетення (високе тертя між нитками та всередині ниток через щільну структуру), стійкість до проколу ножом залежить від міцності ниток, а на стійкість до прорізування впливає структура переплетення

трикотажного матеріалу, що визначає рівень його розтягнення та величину його товщини, а також механічні властивості ниток, з яких його вироблено.

У роботі [83] висвітлено результати дослідження стійкості до прорізування трикотажних матеріалів, вироблених з пара-арамідних і високомолекулярних поліетиленових ниток, та їх поєднання у структурі. У ході досліджень встановлено оптимальне значення щільності в'язання, що дозволяє досягти найвищого рівня опору трикотажного матеріалу прорізуванню. При цьому автори не акцентують увагу на зміну форми петлі у результаті зміни щільності в'язання, як фактору впливу на даний показник.

Інша робота [84] присвячена вивченню питомої стійкості до прорізування багатошарової конструкції з пакету матеріалів, зовнішні шари яких являють собою трикотажні матеріали. Авторами роботи запропонована теоретична модель для розуміння механізму опору прорізуванню трикотажного матеріалу з пара-арамідної нитки та утворених на його основі багатошарових структур. При цьому опір різанню визначено за стандартизованою методикою. Але для кращого розуміння механізму опору трикотажного матеріалу прорізуванню використано також і напрямок вздовж петельних рядів та стовпчиків. Результати показують, що зусилля розрізання багатошарової структури лінійно пропорційне кількості кевларових шарів тканини. Однак дослідниками не брався до уваги фактор зміни щільності в'язання трикотажного матеріалу.

Авторами у роботі [85] згідно з стандартизованою методикою досліджено стійкість до прорізування та стирання двошарового трикотажного матеріалу, зовнішній шар якого сформований з високомолекулярної поліетиленової нитки та металевого дроту, внутрішній – з гідрофобної поліефірної нитки, а в якості з'єднуваних елементів використано поліамідні нитки. Встановлено, що на стійкість до прорізування та стирання суттєвий вплив має наявність металевого дроту в структурі трикотажного матеріалу.

Робота [86] присвячена дослідженню впливу введення в структуру зовнішнього шару текстильного матеріалу базальтової нитки на показники стійкості до прорізування, проколювання та розриву. Виявлено, що збільшення

вмісту базальтових ниток у зовнішньому шарі текстильного матеріалу призводить до зменшення рівня стійкості до механічних ушкоджень.

У роботі [87] висвітлено результати дослідження стійкості до ударів 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 в'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. Однак у роботі не ставилося за мету дослідити вплив зміни щільності в'язання (поверхневого заповнення, форми петель) на обрані характеристики стійкості трикотажного матеріалу з високоміцних ниток.

Авторами робіт [88, 89] досліджено стійкість до різання та особливості руйнування високоміцних одиночних ниток різних фірм виробників. Для реалізації експерименту використано спеціально розроблене пристосування, яке забезпечує розташування промислового леза у процесі різання під різними кутами до поверхні нитки. Органічні волокна продемонстрували однакові рівні опору розрізанню. Причому збільшення кута порізу призводить до зниження опору розрізанню як у разі використання органічних, так і неорганічних волокон. Руйнування в органічних волокнах переважало через анізотропну структуру волокон. І навпаки, ізотропні, неорганічні скляні волокна продемонстрували меншу залежність від кута різання та звичайне локалізоване крихке руйнування. При цьому неорганічні волокна продемонстрували середній рівень стійкості до розрізування та вищий ніж органічні волокна, що обумовлено їх відносною твердістю та вищими поперечними механічними властивостями. Однак слід зауважити, що у структурі трикотажного матеріалу нитка є не прямолінійним відрізком. А криволінійним, зігнутим у петлю. Не лише природа високоміцних ниток, а й особливості розташування нитки в структурі текстильного матеріалу

(форма петель) впливає на стійкість до прорізування. Це потребує проведення додаткових досліджень для встановлення факторів, що впливають на стійкість до прорізування трикотажного матеріалу.

У роботі [90] представлено метод визначення температури старіння тканих полотен з пара-арамідних ниток (кевлар) та у поєднанні з іншими видами сировини. Запропонований авторами метод дозволяє прогнозувати подальші експлуатаційні характеристики виробу у відповідності до обраного сировинного складу текстильного матеріалу.

Авторами роботи [91] проведено випробування на вогнестійкі властивості розроблених зразків трикотажних матеріалів з використанням пара-арамідної нитки. У роботі продемонстровано, що даний вид сировини не може належним чином захистити від впливу відкритого полум'я як самостійний вид захисту, але у разі формування двошарової структури у поєднанні з шаром з вогнестійкої сировини результати кращі. Таким чином вибір структури переплетення залежить від цільового призначення текстильного матеріалу та заданого переліку показників його якості, які слід брати до уваги на етапі його проектування.

### **1.3 Аналіз методів геометричного моделювання та факторів, що впливають на форму петлі кулірного трикотажу**

Найважливішими характеристиками геометричного опису будови трикотажу є: довжина нитки в петлі, висота петельного ряду, петельний крок, середній діаметр нитки, лінійна густина нитки. Для цього використовують різні методи, найбільш розповсюдженими з яких є метод геометричних моделей та емпіричний.

Опис геометрії нитки в петлі не тільки полегшує виявлення закономірностей між найбільш значущими параметрами структури, а й служить основою для розробки енергетичних, механічних і тривимірних моделей петлі. У колективній монографії [92] висвітлено інформацію про найпоширеніші геометричні моделі, їх переваги та недоліки. Усі наукові дослідження

конструкції та параметрів трикотажних матеріалів можна розділити на кілька основних категорій. Першу категорію складають переважно роботи опису геометрії, в яких розглядається специфіка центральної лінії нитки в петлі трикотажу. Це геометричні моделі, які описують довжину нитки в петлі як функцію довжини інших геометричних компонентів, використовують цю інформацію для опису напрямку осі нитки. До другої категорії відносяться механічні моделі. Такі моделі полегшують зв'язок між властивостями волокон та її конфігурацією в трикотажній структурі. До третьої категорії відносяться так звані енергетичні моделі, які пов'язують форму петлі з факторами балансу енергії взаємодії сили ниток в петлі [92–104].

З точки зору геометрії високоміцних ниток в структурі трикотажного матеріалу цікавими є механічні та енергетичні моделі, що враховують характеристики нитки, з якої його вироблено. Зокрема у силовій моделі Труєвцева, особливості якої описано у монографії [92], вважається, що нитка, зігнута у формі петлі, прагне досягти своєї природної прямої конфігурації і цим самим створює силу реакції, яка розподіляється в зоні контакту сусідніх петель і замінюється еквівалентною силою, що діє в геометричному центрі площі контакту – точці переплетення. Палички петель розглядаються як стрижні низької жорсткості під час нелінійного згинання, а голкова і платинні дуги є результатами чистого згинання пружного стрижня з однаковою силою навантаження на обох кінцях. При цьому геометричні параметри полотна з нетермопластичних ниток визначаються: довжиною нитки в петлі; лінійною густиною; волокнистим складом; коефіцієнтом крутки; видом переплетення [92].

Силова модель петель Постля-Мандена, охарактеризована у монографії [92], більш точно відтворює фізичну природу складних взаємодій петель в трикотажних структурах, враховує пружні властивості ниток, дозволяє знаходити зв'язки між параметрами та силами що діють в ньому. У даній моделі вперше встановлено зв'язок між жорсткістю нитки на згин, фрикційними властивостями, довжиною та конфігурацією нитки в петлі трикотажу.

Силовий та енергетичний підходи реалізовано Конопасеком при створенні геометричної моделі петлі кулірного трикотажу, особливості будови якої висвітлено у монографії [92]. Дана модель передбачає, що форма петлі залежить від жорсткості нитки під час згинання та скручення, а лінійний модуль петлі є основним показником геометричних параметрів петель та фізико-механічних властивостей трикотажу, включаючи щільність, товщину, міцність, розтяжність і масу. Однак запропонована модель петлі не враховує сили тертя нити об нитку.

Силова геометрична модель петлі, запропонована Щербаковим, отримана на підставі загального рівняння пружної лінійної механіки нитки. Особливості цієї моделі охарактеризовано у роботі [92]. Дана модель розв'язує задачу форми центральної лінії петлі теоретичними методами розрахунку, без залучення експерименту.

Структурна модель трикотажних полотен, запропонована Курбаком [103] передбачає, що палички остова петлі мають спіралеподібну форму і намотуються на еліптичний циліндр з різними кутами нахилу спіралі вздовж петельного ряду. Голкові та платинні дуги представлено у вигляді еліптичних перерізів на площину полотна та на площину, перпендикулярну до площини полотна й орієнтовану вздовж петельного ряду. У проєкції на площину, перпендикулярну до площини полотна та орієнтовану вздовж петельного стовпчика, голкові та платинні дуги мають вигляд прямих відрізків.

Енергетична модель петлі Чой та Ло [104] описує модель переплетеної поверхневої петлі на основі аналізу енергії. Під час в'язання нитка, що зігнута в петлю, може зазнати пластичної деформації через перерозподіл нитки та/або постійне розтягування поза зоною вигину нитки. Вперше у теоретичній моделі відображено такі явища, як кручення та перекис петельних стовпчиків. Тобто, модель пропонує можливість математично описати петлю, яка є асиметричною відносно вертикальної осі.

Характеристики структури трикотажних матеріалів мають надзвичайно важливе значення для багатьох показників якості, починаючи від естетичного зовнішнього вигляду і закінчуючи фізико-механічними властивостями Тому



постійно приваблюють дослідників у спробі вирішення проблеми створення універсальних математичних моделей для повного та однозначного опису геометрії нитки в структурі трикотажу. При цьому структура і властивості трикотажу залежать від певних параметрів, таких як: фізико-механічні властивості сировини, вид переплетення, стан трикотажу, параметри в'язання та ін.

Геометричний опис ниток у структурах трикотажу існує близько 100 років. Аналізуючи найвідоміші моделі петлі кулірного трикотажу можна сказати, що геометричне моделювання конструкцій трикотажних матеріалів розвивається у трьох основних напрямках [92]:

1) на основі геометричного аналізу та спостереження за об'єктом дослідження використовують найпростіші геометричні об'єкти: відрізки прямої та колові перерізи для опису геометричної форми осі лінії.

2) на підставі механічних законів тонких пружних стрижнів встановлено зв'язок між властивостями лінії та формою петлі, зокрема кривизною його середньої лінії.

3) використання геометрії, придатної для просторових кривих, що використовуються в системах 3D-моделювання. Водночас вони можуть базуватися на використанні моделей, що стосуються першого та/або другого напрямку.

Однак, у жодній з моделей, запропонованій науковцями на сьогоднішній момент, не зазначався як фактор впливу на геометрію нитки в структурі трикотажного матеріалу тип в'язального обладнання, на якому відбувається процес петлетворення та вид петлетворення. Саме цей фактор потребує подальших досліджень.

#### **1.4 Аналіз сучасних досліджень у напрямку вивчення поведінки високоміцних ниток при їх переробці на технологічному обладнанні та прогнозування механічних характеристик одержаного трикотажного матеріалу**

На сьогодні найбільша кількість робіт, присвячених дослідженню механіки нитки під час її переробки на промисловому текстильному обладнанні належать авторам Щербань В.Ю., Щербань Ю.Ю., Колиско О.З, Мельник Г.В, Кириченко А.М. та ін. Зокрема у монографії [105] автори акцентують увагу на необхідності вивчення взаємодії високоміцних ниток з робочими органами як ткацького верстата, так і круглов'язальної машини з метою забезпечення нормальних умов їх переробки та уникнення втрати міцності. Недосконалість пристроїв для натягу нитки та компенсаторів натягу на в'язальному обладнанні, коливання вхідного натягу призводить до виникнення коливань натягу в зонах контакту з нерівномірною за діаметром ниткою, а це, в свою чергу, призводить до її обриву або руйнування окремих філаментів.

У іншій роботі [106] висвітлено результати дослідження з визначення натягу поліетиленових і поліамідних мультифіламентних ниток при взаємодії з напрямними й робочими органами (великої та малої кривизни) ткацьких і в'язальних машин. Авторами доведено, що збільшення натягу пояснюється різним кутом контакту поліетиленових і поліамідних мультифіламентних ниток з великими й малими вигнутими напрямними. Встановлені у результаті досліджень регресійні залежності дозволяють визначати натяг поліетиленових та поліамідних мультифіламентних ниток перед зоною формування трикотажного матеріалу залежно від геометричних та конструктивних параметрів обладнання та їх механічних характеристик.

Робота [107] присвячена удосконаленню системи подачі нитки та пряжі при виконанні технологічних процесів в'язання на основі стабілізації натягу перед робочою зоною з урахуванням таких реальних властивостей нитки як нерівномірність діаметра перетину, жорсткість на згин, зминання в зоні контакту. У ході виконання роботи враховано особливості взаємодії нитки та

пряжі з пристроями для натягу нитки та компенсаторами системи подачі нитки круглов'язальних машин. Зокрема враховано нерівномірність вхідного натягу нитки та пряжі, радіальне охоплення в зоні контакту, кути охоплення в точках входу та виходу пристроїв для натягу нитки та компенсаторів. З використанням рекурсивного підходу на основі аналізу структурних схем системи подачі нитки круглов'язальних машин автором роботи [107] запропоновані системи рівнянь для визначення поточного натягу з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей сировини та умов взаємодії зі структурними елементами системи подачі нитки. Однак плосков'язальне обладнання має свої особливості процесу петлетворення внаслідок зворотно-поступального руху каретки. Крім того, враховується зміна натягу нитки до зони в'язання. Питання впливу фізико-механічних характеристик ниток та особливостей процесу петлетворення за умови наявності чи відсутності платин не досліджувалися.

Одержані результати вивчення поведінки ниток при взаємодії з напрямними в'язального обладнання [105–109] слід брати до уваги на етапі створення віртуальних моделей технологічних процесів виготовлення текстильних матеріалів. Зокрема, у наш час, коли комп'ютерні технології дозволяють проводити віртуальні експерименти, які значно економлять час та сировинні ресурси, з'являється все більше наукових досліджень, реалізація яких сприяє формуванню технічної та інформаційної бази для їх реалізації у системах комп'ютерного моделювання.

На форму петель трикотажного матеріалу мають вплив не лише фізико-механічні характеристики ниток, зміна їх натягу при взаємодії з напрямними в'язальної машини, а й особливості протікання процесу петлетворення. Виявлення характеру впливу зазначених факторів сприятиме подальшому тривимірному геометричному моделюванню структури трикотажного матеріалу з високоміцних ниток в залежності від обраного типу в'язального обладнання (з платинами чи без) та прогнозуванню його властивостей у системах імітаційного моделювання.

У роботі [110] розроблено метод анімаційної деформації тканих та трикотажних матеріалів, що відтворює їх характерну поведінку під час розтягування у вигляді трикутника. Однак у даній роботі не вказано ні вид сировини, а ні обладнання на якому можливе виготовлення дослідних зразків, так як усі ці фактори також впливають на форму та параметри петлі.

Авторами роботи [111] запропоновано метод прогнозування властивостей трикотажних полотен спеціального призначення шляхом використання 3D геометричних моделей. Однак практичний досвід виготовлення трикотажного матеріалу на різних типах плосков'язального обладнання дозволяє стверджувати, що на форму петель впливає не лише характеристика нитки, з якої вироблено трикотажний матеріал, а й особливості протікання окремих операцій процесу петлетворення. Зокрема виконанням завершальної операції процесу петлетворення – відтягування, зосередженого на платинних дугах за допомогою горловин платин, та загального без участі платин внаслідок дії на полотно гребінки з тягарцями обумовлює зміну конфігурації осьової лінії нитки в петлі. У даній роботі відсутня інформація щодо урахування особливостей процесу петлетворення під час відображення конфігурації осьової лінії нитки в елементах структури трикотажу (голкова дуга, платинна дуга, палички остова петлі). Таким чином, запропонована авторами роботи методика розрахунку контрольних вершин для визначення координат B-сплайну потребує удосконалення з позиції урахування зміни параметрів петельної структури трикотажу виробленого на плосков'язальному обладнанні з платинами та без.

У роботі [112] представлено віртуальний підхід до сферичної деформації трикотажної структури. Авторами роботи запропоновано два шляхи реалізації: перший полягав у моделюванні реальної структури тканини на основі елементарної комірки тривимірної петельної моделі переплетення ластик  $1 \times 1$ , що складається з армуючих ниток основи та утоку; другий базувався на тому, що матриця жорсткості досліджуваного текстильного матеріалу являє собою комбінацію матриць жорсткості як структури переплетення ластик  $1 \times 1$ , так і для армуючих поздовжніх та поперечних ниток. При цьому здійснено порівняльний

аналіз результатів реалізації віртуального підходу з використанням комп'ютерних систем імітаційного моделювання Abaqus на основі методу скінченних елементів з даними, одержаними експериментально шляхом сферичної деформації дослідних зразків трикотажу. Отримані дані показали, що обидві моделі можуть успішно прогнозувати сферичну деформацію трикотажного матеріалу з поздовжнім та поперечним утком. Однак трикотажний матеріал без введення у його структуру уткових ниток, матиме інший характер сферичної деформації, що потребує подальшого вивчення поведінки ниток в структурі трикотажного матеріалу в залежності від структури переплетення та форми петель.

Автори іншої роботи [113] звертають увагу, що на формоутворення петель в структурі трикотажу впливає поведінка ниток. У роботі представлено силову модель, що відтворює геометрію та кінематику нитки в структурі трикотажу. Запропонований метод дозволяє відтворити зміну вигляду трикотажного матеріалу під впливом деформації його поверхні. Однак запропонований у роботі метод не враховує поведінку нитки в структурі трикотажу в залежності від типу обладнання на якому його виготовлено та характеристики ниток. З точки зору прогнозування механічних характеристик трикотажного матеріалу також важливим є вирішення питання відтворення у комп'ютерних системах імітаційного моделювання деформації трикотажної структури під дією одновісного розтягу.

Авторами робіт [114, 115] розроблені каркасні моделі деформування трикотажного матеріалу вздовж петельних рядів й стовпчиків. Запропоновані алгоритми побудови сітки-каркасу дозволяють встановити координати характерних точок елементів структури трикотажу у стані одновісного розтягування та здійснити побудову тривимірних моделей нитки у структурі деформованого трикотажу під дією одновісного розтягу. Однак для прогнозування величини видовження трикотажного матеріалу внаслідок деформації під дією одновісного розтягу вздовж лінії петельного ряду чи стовпчика слід попередньо з'ясувати геометрію нитки в структурі трикотажу в

умовно-рівноважному стані у відповідності до виду ниток та особливостей процесу петлетворення.

## Висновки до розділу 1

1. За своєю будовою трикотажний матеріал є більш податливим до відтворення форми об'єкта складної конфігурації завдяки своїй нитковій будові у вигляді петель, що переплетені між собою у процесі в'язання. Тому, на нашу думку, для виготовлення дрібних деталей в екіпіруванні військовослужбовця, які повинні забезпечувати додатковий захист від дії механічних ушкоджень та разом з цим створювати комфортні умови експлуатації, а саме приймати задану форму у динаміці та не скутувати рухів, доречніше використовувати саме трикотажну структуру. Це такі захисні елементи як налокітники та наколінники, чохла на шоломи, вставки для захисту обличчя, шиї, плечей та паху.

2. Аналіз наукових праць за напрямом дослідження дозволяє стверджувати, що тема розробки трикотажних матеріалів з високоміцних ниток та дослідження факторів, що впливають на їх стійкість до проколювання, прорізування та ін. наразі є актуальною та залишається у полі зору дослідників. При цьому питання впливу типу в'язального обладнання (з платинами або без) на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії механічних ушкоджень вивчене недостатньо. Увага науковців зосереджена на різних методах досліджень поведінки текстильних матеріалів різних структур з сировини підвищеної міцності внаслідок дії колючих та ріжучих предметів.

3. У ході досліджень стійкості текстильних матеріалів до дії механічних ушкоджень науковцями не акцентується увага на способі виготовлення трикотажного матеріалу (тип в'язального обладнання: з платинами та без) та на формі петель, як факторів впливу на показники стійкості до дії механічних ушкоджень, а саме: опір різанню, проколюванню стержнем та продавлюванню кулькою. 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.

4. Розривальне навантаження та видовження, опір прорізуванню, проколюванню та продавлюванню кулькою є важливими характеристиками трикотажного матеріалу підвищеної міцності. Однак у наукових працях відсутні відомості щодо впливу типу в'язального обладнання з платинами та без на зазначені характеристики трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток. Для розуміння характеру опору трикотажного матеріалу механічним ушкодженням в залежності від обраного типу в'язального обладнання та виду високоміцних ниток доцільним є проведення відповідних досліджень за умови зміни щільності в'язання у процесі його виготовлення.

5. Розвиток сучасних комп'ютерних технологій, які передбачають імітаційне моделювання реальних об'єктів, актуалізує завдання зі встановлення впливу типу в'язального обладнання, технологічних параметрів в'язання й виду сировини на формоутворення петель та параметри структури трикотажного матеріалу.

## Список використаних джерел до розділу 1

1. Dyneema® : official website. URL: <https://www.dyneema.com/> (date of access: 13.06.2024).
2. Honeywell : official website. URL: <https://advancedmaterials.honeywell.com/us/en> (date of access: 13.06.2024).
3. Lightweight Ballistic Composites – Military and Law-Enforcement applications / ed. by A. Bhatnagar. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2016. 482 p.
4. Dong Z., Sun C. T. Testing and modeling of yarn pull-out in plain woven Kevlar fabrics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2009. № 40 (12). P. 1863–1869. DOI: 10.1016/j.compositesa.2009.04.019.

5. Tam D.K.Y., Ruan S., Gao P., Yu T. 10 - High-performance ballistic protection using polymer nanocomposites. *Advances in Military Textiles and Personal Equipmen* / ed. by E. Sparks. Woodhead Publishing, 2012. P. 213–237. (Woodhead Publishing Series in Textiles). DOI:10.1016/B978-1-84569-699-3.50010-4.
6. Kabir R. B., Ferdous N. Kevlar – The Super Tough Fiber. *International Journal of Textile Science*. 2013. № 1 (6). P. 78–83. DOI:10.5923/j.textile.20120106.04.
7. Perepelkin K. E. Russian Aromatic Fibres. *High-Performance Fibres* / ed. by J.W.S. Hearle. Cambridge, Woodhead Publishing Ltd., 2001. P. 115–132; 146–154.
8. ZYLON®(PBO fiber) : Technical Information. TOYOBO CO., LTD, 2005. 18 p. URL: <https://www.toyobo-global.com/seihin/kc/pbo/zylon-p/bussei-p/technical.pdf> (date of access: 13.06.2024).
9. Deitzel J. M., McDaniel P., Gillespie J. W. High-performance polyethylene fibers. *Structure and Properties of High-Performance Fibers*. 2017. P. 167–185. (Woodhead Publishing Series in Textiles). DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100550-7.00007-3>.
10. 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. DOI: <https://doi.org/10.1021/am900859c>.
11. Kabir R. B., Ferdous N. Kevlar – The Super Tough Fiber. *International Journal of Textile Science*. 2013. № 1 (6). P. 78–83. DOI 10.5923/j.textile.20120106.04.
12. BeijingTongyizhong : official website. URL: [http://www.bjtyz.com/en/index.php?optionid=681&auto\\_id=5](http://www.bjtyz.com/en/index.php?optionid=681&auto_id=5) (date of access: 13.06.2024).
13. Liu X. Q., Meng J. G., Tian M. Development of three dimensional knitted comthyposite materials by using UHMWPE fiber. *Knit. Ind*. 2017. № 2. P. 21–24.
14. Li C.-Y., Li W.-W., Li R.-P., Chen Z.-R. Surface modification of ultra-high molecular weight polyethylene fiber by chemical etching method and its rubber



matrix composites. *Xiandai Huagong/Modern Chemical Industry*. 2015. № 35. P. 77–80 and 82.

15. Da W. F. Present situation and development of UHMWPE. *Advanced Materials Interfaces*. 2011. № 9. P. 17–20.

16. Hang H., Wang L. B., Gao Y. P., et al. Research progress of nano modified ultra high molecular weight polyethylene fiber and mechanical properties of its rubber matrix composites. *Acta. Mater. Compos. Sin.* 2015. № 32. P. 409–419.

17. Li C. Y., Li W., Li R. P., et al. Compound surface modification of ultra-high molecular weight polyethylene fiber and mechanical properties of its rubber matrix composites. *Mater. Rev.* 2016. № 30. P. 33–39.

18. Wei K., Qin Z. G. Study on the tensile properties of weft knitted composite Materials. *Shanghai Text. Sci. Tech.* 2015. № 43. P. 44–47.

19. Ma P. B., Zhu Y. J., Gao Y., et al. Application and development of knitted composites. *Fiber. Glass.* 2014. № 1. P. 5–10.

20. Roiron C., Lainé E., Grandidier J.-C., Garois N., Vix-Guterl C. A Review of the Mechanical and Physical Properties of Polyethylene Fibers. *Textiles*. 2021. № 1. P. 86–151. DOI: [10.3390/textiles1010006](https://doi.org/10.3390/textiles1010006).

21. Корчак Ю., Корчак Л. Матеріали для виготовлення бронежилетів: сучасний стан і перспективи. *Електроніка та інформаційні технології*. 2016. № 6. С. 54–71. URL: [http://elit.lnu.edu.ua/pdf/6\\_6.pdf](http://elit.lnu.edu.ua/pdf/6_6.pdf).

22. Seretis G. V., Kostazos P. K., Manolakos D. E., Provatidis C. G. On the mechanical response of woven para-aramid protection fabrics. *Composites Part B: Engineering*. 2015. № 79. P. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.025>.

23. Bilisik K. Properties of yarn pull-out in para-aramid fabric structure and analysis by statistical model. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2011. № 42 (12). P. 1930–1942. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.08.018>.

24. Beex L. A. A., Verberne C. W., Peerlings R. H. J. Experimental identification of a lattice model for woven fabrics: Application to electronic textile.

*Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2013. № 48. P. 82–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.12.014>.

25. Shim V. P. W., Lim C. T., Foo K. J. Dynamic mechanical properties of fabric armour. *International Journal of Impact Engineering*. 2001. № 25 (1). P. 1–15. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(00\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(00)00038-5).

26. Безсмертна В. І. Удосконалення технології виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими властивостями : дис. ... д-ра філософії : спеціальність 182 - Технології легкої промисловості, галузь знань 18 - Виробництво та технології / Безсмертна Вікторія Ігорівна ; наук. кер. Л. Є. Галавська ; КНУТД. Київ, 2020. 276 с.

27. Крилова Л. О., Дмитренко Л. А. Використання міцності нитки в трикотажі. Повідомлення 1. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2012. № 1 (63). С. 110–114.

28. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Безсмертна В. І. Вплив параметрів процесу в'язання кулірного трикотажу на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових ниток. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2021. № 1 (293). С. 176–182. DOI:10.31891/2307-5732-2021-293-1-176-182.

29. Bajya M., Majumdar A., Butola B. S. Criticality of inter-yarn friction in high-performance fabrics for the design of soft body armour. *Composites Communications*. 2022. № 29. 100984. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2021.100984>.

30. Abtew M. A., Boussu F., Bruniaux P., Loghin C., Cristian I., Chen Y., Wang L. Yarn degradation during weaving process and its effect on the mechanical behaviours of 3D warp interlock p-aramid fabric for industrial applications. *Journal of Industrial Textiles*. 2022. № 51 (5S). P. 9047S–9070S. DOI: <https://doi.org/10.1177/1528083720937288>.

31. Elgohary D. H., Elshakankery M. H. Analysis of the Mechanical Properties of Kevlar 29 Woven Fabrics. *Journal of the TEXTILE Association*. 2020. № 80 (6). P. 441–447.

32. Tapie E., Shim V. P. W., Guo Y. B. Influence of weaving on the mechanical response of aramid yarns subjected to high-speed loading. *International Journal of Impact Engineering*. 2015. № 80. P. 1–12. DOI:10.1016/j.ijimpeng.2014.12.010.
33. Belloni E., Monteiro A., Clain F., Guilherme C. Fatigue and impact load: Experimental investigation on mechanical behavior of high modulus polyethylene yarns. *Polymers and Polymer Composites*. 2022. № 30. DOI:10.1177/09673911221103934.
34. Shin H.-S., Erlich D. C., Simons J. W., Shockey D. A. Cut Resistance of High-strength Yarns. *Textile Research Journal*. 2006. № 76 (8). P. 607–613. DOI:10.1177/0040517506067335.
35. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Синькова Л. А. Вплив параметрів в'язання на структурні характеристики трикотажу, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 4. С. 133–138.
36. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Дослідження параметрів структури трикотажу з високомолекулярних поліетиленових ниток. *Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості: матеріали Всеукраїнської конференції (м. Херсон, 22–23 травня 2018 р.)*. Херсон: ХНТУ, 2018. С. 42–43.
37. Безсмертна В. І., Галавська Л. Є., Боброва С. Ю. Дослідження втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання кулірного трикотажу. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2019. № 2 (132). С. 51–59.
38. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Бахмач Д. А. Розробка структури трикотажу з використанням надміцної сировини на плосков'язальному обладнанні. *Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність* : тези доповідей II Міжнар. наук.-практ. конф. (27–28 жовтня 2016 р.). Херсон: ХНТУ, 2016. С. 43–45.

39. Боброва С. Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 5. С. 242–246.
40. Шиби́рин К. А., Габелко А. М.; наук. кер. Боброва С. Ю. Розробка трикотажу підвищеної міцності, що використовується для захисту рук від дії механічних пошкоджень. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVI Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів (27–28 квітня 2017 р., Київ)*. Київ: КНУТД, 2017. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 306–307.
41. Malik M. H., Akhtar N., Bakkar A., Fraz A. Comparison of cut-resistance performance of gloves made from virgin and recycled Para-Aramid fibres. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. № 507. 012001. DOI 10.1088/1757-899X/507/1/012001.
42. Irfan M., Afzal A., Nazir A. et al. Development and characterization of protective gloves using waste para aramid fibers. *Journal of Industrial Textiles*. 2022. № 52. DOI:[10.1177/15280837221113363](https://doi.org/10.1177/15280837221113363).
43. Jia M., Wu M., Yan R., Ma X., Wei S., Zhang W. Study on manufacturing and mechanical properties of UHMWPE knitted structural reinforcement in composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. № 446. 022048. DOI:10.1088/1755-1315/446/2/022048.
44. Mikucioniene D., Halavska L., Bobrova S., Ielina T., Milasius R. Ultra-Strong Knits for Personal Protective Equipment. *Applied Sciences*. 2020. № 10 (18). DOI:10.3390/app10186197.
45. Марченко О. С. Історія розвитку засобів індивідуального захисту. *Сучасна спеціальна техніка*. 2017. № 2 (49). С. 56–61.
46. Марченко О. С. Засоби індивідуального бронезахисту: види та класифікація. *Сучасна спеціальна техніка*. 2017. № 1 (48). С. 61–66.
47. Hani A. R. A., Roslan A., Mariatti J., Maziah M. Body Armor Technology: A Review of Materials, Construction Techniques and Enhancement of

Ballistic Energy Absorption. *Advanced Materials Research*. 2012. № 488–489. P. 806–812. DOI:10.4028/www.scientific.net/amr.488-489.806.

48. Bajya M., Majumdar A., Singh Butola B., Arora S., Bhattacharjee D. Ballistic Performance and Failure Modes of Woven and Unidirectional Fabric based Soft Armour Panels. *Composite Structures*. 2020. 112941. DOI:10.1016/j.compstruct.2020.112941.

49. Ralph C., Baker L., Archer E., McIlhagger A. Optimization of soft armor: the response of single-ply para-aramid and ultra-high molecular weight polyethylene fabrics under ballistic impact. *Textile Research Journal*. 2020. № 90 (15-16). P. 1713–1729. DOI:10.1177/0040517519900384.

50. Mou H., Xie J., Pei H., Feng Z., Geng H. Ballistic impact tests and stacked shell simulation analysis of aramid fabric containment system. *Aerospace Science and Technology*. 2020. 106344. DOI:10.1016/j.ast.2020.106344.

51. Chen X., Zhou Y. Technical textiles for ballistic protection. *Handbook of Technical Textiles*. 2016. P. 169–192. DOI:10.1016/b978-1-78242-465-9.00006-9.

52. Karahan M., Kuş A., Eren R. An investigation into ballistic performance and energy absorption capabilities of woven aramid fabrics. *International Journal of Impact Engineering*. 2008. № 35 (6). P. 499–510. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2007.04.003.

53. Park J. L., Chi Y.-S., Kang T. J. Ballistic performance of hybrid panels composed of unidirectional/woven fabrics. *Textile Research Journal*. 2012. № 83 (5). P. 471–486. DOI:10.1177/0040517512444337.

54. Zhou Y., Hou J., Gong X., Yang D. Hybrid panels from woven Kevlar® and Dyneema® fabrics against ballistic impact with wearing flexibility. *The Journal of The Textile Institute*. 2017. № 109 (8). P. 1027–1034. DOI:10.1080/00405000.2017.1398122.

55. Abtew M. A., Boussu F., Bruniaux P., Hong Y. Dynamic Impact Surface Damage Analysis of 3D Woven Para-Aramid Armour Panels Using NDI Technique. *Polymers*. 2021. № 13 (6). 877. DOI:10.3390/polym13060877.

56. Sakaguchi S., Carr D., Horsfall I., Girvan L. Protecting the extremities of military personnel: fragment protective performance of one- and two-layer ensembles. *Textile Research Journal*. 2012. № 82 (12). P. 1295–1303. DOI:10.1177/0040517512436826.
57. Ertekin M., Erhan Kirtay H. Cut resistance of hybrid para-aramid fabrics for protective gloves. *The Journal of The Textile Institute*. 2015. № 107 (10). P. 1276–1283. DOI:10.1080/00405000.2015.1100820.
58. Nilakantan G., Horner S., Halls V., Zheng J. Virtual ballistic impact testing of Kevlar soft armor: Predictive and validated finite element modeling of the V<sub>0</sub> - V<sub>100</sub> probabilistic penetration response. *Defence Technology*. 2018. № 14 (3). P. 213–225. DOI:10.1016/j.dt.2018.03.001.
59. Ramakrishna S. Characterization and modeling of the tensile properties of plain weftknit fabric-reinforced composites. *Composites Science and Technology*. 1997. № 57. P. 1–22.
60. Zhangyu F. Z., Yanmo C., Hairu L. Effects of prestretching on the tensile properties of knitted glass fiber fabric reinforced polypropylene composite. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 2006. № 19. P. 399–411.
61. Hepworth B. The biaxial load-extension behavior of a model of plain weft-knitting-part I. *The Journal of The Textile Institute*. 1978. № 69. P. 101–107.
62. 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. *The Journal of The Textile Institute*. 1974. № 65. P. 200–212.
63. MacRory B. M., McCraith R., McNamara A. B. The biaxial load-extension properties of plain weft-knitted fabrics- a theoretical analysis. *Textile Research Journal*. 1975. № 45. P. 746–760.
64. MacRory B. M., McNamara A. B. Knitted fabrics subjected to biaxial stress-an experimental study. *Textile Research Journal*. 1967. № 37. P. 908–911.
65. Popper P. The theoretical behavior of a knitted fabric subjected to biaxial stresses. *Textile Research Journal*. 1966. № 36. P. 148–157.

66. Hong H. et al. Theoretical analysis of loadextension properties of plain weft knits made from high performance yarns for composite reinforcement. *Textile Research Journal*. 2002. № 72. P. 991–995.
67. 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. *The Journal of The Textile Institute*. 1974. № 65. P. 254–260.
68. 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. *Textile Research Journal*. 2017. № 87. P. 838–852.
69. Penava Ž., Penava D. Š., Miloš L. Experimental and analytical analyses of the knitted fabric off-axes tensile test. *Textile Research Journal*. 2020. № 91. P. 62–72. DOI:10.1177/0040517520933701.
70. 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. № 15 (2). P. 382–389. DOI:10.1007/s12221-014-0382-x.
71. 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>.
72. Jia M., Wu M., Yan R., Ma X., Wei S., Zhang W. Study on manufacturing and mechanical properties of UHMWPE knitted structural reinforcement in composites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. № 446. 022048. DOI:10.1088/17551315/446/2/022048.
73. Leaf G. A., Glaskin A. The geometry of plain knitted loop. *The Journal of The Textile Institute*. 1955. № 25. P. T587–T605.
74. Bueno M.-A. Structure and mechanics of knitted fabrics. *Structure and mechanics of textile fibre assemblies* / ed. by P. Schwartz. Cambridge: Woodhead Publishing, 2008. P. 84–113.
75. 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.

76. Кулик А. А., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Розробка трикотажу підвищеної міцності та дослідження його механічних характеристик. *Освіта і наука*. 2019. № 1 (26). С. 40–47.

77. 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. № 50 (9). P. 1384–1396. DOI:10.1177/1528083719865044.

78. 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* (м. Київ, 19 жовтня 2023 р.). Київ : КНУТД, 2023. С. 148–150.

79. Zelalem E., Gideon R. K. The Study of Mechanical Properties of Knitted Fabrics: Tear and Bursting Strength. *Journal of Advanced Research in Polymer and Textile Engineering*. 2020. № 1 (1). P. 34–40.

80. Memon A. A., Peerzada M. H., Sahito I. A. et al. Facile fabrication and comparative exploration of high cut resistant woven and knitted composite fabrics using Kevlar and polyethylene. *Fashion and Textiles*. 2018. № 5. 5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0122-0>.

81. Безсмертна В. І., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Кравченко А. В. Дослідження стійкості до порізу трикотажу для захисту рук від механічних ушкоджень. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 2 (283). С. 255–260.

82. Fangueiro R., Carvalho R., Silveira D., Ferreira N., Ferreira C., Monteiro F., Sampaio S. Development of High-performance Single Layer Weft Knitted Structures for Cut and Puncture Protection. *Journal of Textile Science & Engineering*. 2015. № 05 (06). DOI:10.4172/2165-8064.1000225.

83. Mollaei A., Ahmadi M. S. Effect of structural parameters on the cut resistance of para-aramid and ultra-high molecular weight polyethylene weft knitted



fabrics. *The Journal of The Textile Institute*. 2019. № 111 (5). P. 639–645. DOI:<https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1656700>.

84. Messiry M. E., El-Tarfawy S. Y. Cutting resistance of flexible armour using multiple layers of triaxial kevlar fabric. *Journal of Industrial Textiles*. 2020. 152808372096827. DOI:10.1177/1528083720968279.

85. Krauledaitė J., Ancutienė K., Krauledas S., Urbelis V., Sacevičienė V. Research of 3D weft-knitted fabrics designed to protect against mechanical risks and suitable for contact with skin. *Journal of Industrial Textiles*. 2022. № 51 (5S). P. 7674S–7693S. DOI:10.1177/1528083720925831.

86. 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. № 92 (23–24). P. 4709–4721. DOI:10.1177/00405175221109633.

87. Alpyildiz T., Rochery M., Kurbak A., Flambard X. Stab and cut resistance of knitted structures: a comparative study. *Textile Research Journal*. 2010. № 81 (2). P. 205–214. DOI:10.1177/0040517510383617.

88. Mayo J., Wetzel E. Cut resistance and failure of high-performance single fibers. *Textile Research Journal*. 2014. № 84 (12). P. 1233–1246. DOI:10.1177/0040517513517966.

89. Slusarski K. A., Taggart-Scarff J. K., Wetzel E. D. Statistical cut response of high-performance single fibers. *Textile Research Journal*. 2018. 004051751877592. DOI:10.1177/0040517518775929.

90. Dolez P. I., Tomer N. S., Malajati Y. A quantitative method to compare the effect of thermal aging on the mechanical performance of fire protective fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018. 47045. DOI:10.1002/app.47045.

91. Кравчук М. Ф., Галавська Л. Є., Шатило Т. В. Дослідження вогнестійкості розроблених трикотажних матеріалів для виготовлення захисних рукавичок. *Індустрія моди*. 2023. № 3. С. 45–52. DOI: 10.30857/2706-5898.2023.3.2.

92. Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Боброва С. Ю., Аушева Н. М. Моделювання структури трикотажу: монографія. Київ : ЛІНО, 2022. 204 с.
93. Tompkins E. The science of knitting. London, New York: John Wiley and sons, 1914. 330 p.
94. Chamberlain J. Hosiery yarn and fabrics. Vol. 1. Leicester: City of Leicester Technical College, 1926. 210 p.
95. Pierce F. T. Geometrical principle applicable to the design of functional fabrics. *Textile Research Journal*. 1947. № 17 (3). P. 123–147.
96. Glaskin A., Leaf G.A.V. An analysis of the stresses in some approximation to a simple knitted loop of monofilament yarn. *Journal of the Textile Institute*. 1953. № 44 (11). P. 534–543.
97. Leaf G.A.V., Glaskin A. The geometry of the plain knitted loop. *Journal of the Textile Institute*. 1955. № 46. P. 587–605.
98. Vékássy A. Examination of the cover-factor and specific weight of weft-knitted or looped basis texture based on the exact value of the loop length. *Acta Technica*. 1960. № 31. P. 69–102.
99. Leaf G.A.V. A property of a buckled elastic rod. *British Journal of Applied Physics*. 1958. № 9 (2). P. 71–72.
100. Postle R., Munden D. L. Analysis of the dry-relaxed knitted-loop configuration. Part 1: Two-dimensional analysis. *Journal of the Textile Institute*. 1967. № 58 (8). P. 329–351. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405006708629880>.
101. Postle R., De Jong S. An energy analysis of the mechanics of weft-knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*. 1977. № 68 (10). P. 307–329.
102. Demiroz A., Dias T. A Study of the Graphical Representation of Plain-knitted Structures. Part I: Stitch Model for the Graphical Representation of Plain-knitted Structures. *Journal the Textile Institute*. 2000. № 91 (4). P. 463–480. DOI: <https://doi.org/10.1080/00405000008659121>.

103. Kurbak A., Ekmen Ö. Basic Studies for Modeling Complex Weft Knitted Fabric Structures. Part I: A Geometrical Model for Widthwise Curlings of Plain Knitted Fabrics. *Textile Research Journal*. 2008. № 78. P. 198–208.

104. Choi K. F., Lo T.Y. An Energy Model of Plain Knitted Fabric. *Textile Research Journal*. 2003. № 73 (8). P. 739–748.

105. Shcherban' V. Yu., Halavska L. E., Kolysko O. Z., Shcherban' Yu. Yu., Ielina T. V., Kolysko M. I. Mathematical software models for determining technological efforts in the production of technical fabrics and knitwear for military needs : monograph. Kyiv : Education of Ukraine, 2021. 150 p.

106. Shcherban' V. Yu., Kolysko O., Melnyk G., Kolysko M., Halavska L., Shcherban' Yu. Yu. The influence of the curvature radius of the guiding surface on the tension of polyethylene and polyamide complex yarns during processing on weaving and knitting machines. *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)*. 2021. № 28 (3). P. 72–81.

107. Кириченко А. М. Удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу : дис. ... д-ра філософії :182 - Технології легкої промисловості ; галузь знань 18 - Виробництво та технології / Кириченко Антон Миколайович ; наук. кер. В. Ю. Щербань ; КНУТД. Київ, 2021. 229 с.

108. Мельник Г. В. Удосконалення пружної системи заправки ниток на круглов'язальних машинах на основі стабілізації натягу: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.19 / Мельник Геннадій Валерійович ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. Київ, 2017.

109. Шолудько М. І. Удосконалення технологічних процесів текстильної промисловості з урахуванням нелінійних характеристик деформації та тертя в зоні контакту нитки з напрямною [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.19 / Шолудько Мар'яна Ігорівна ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. - Київ, 2015. - 24 с.

110. Sperl G., Narain R. Wojtan C. Mechanics-aware deformation of yarn pattern geometry. *ACM Transactions on Graphics*. 2021. № 40 (4). P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1145/3450626.3459816>.

111. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V., Halavska L. The use of 3D geometric models in special purpose knitwear design and predicting of its properties. *Vlákna a textil (Fibres and Textiles)*. 2018. № 2 (25). P. 19–26. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9778> (date of access: 13.06.2024).

112. Abghary M. J., Nedoushan R. J., Hasani H. Simulation of the spherical deformation of biaxial weft-knitted fabrics using meso and macro models. *Fibers and Polymers*. 2016. № 17 (10). P. 1702–1708. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6511-y>.

113. Cirio G., Lopez-Moreno J., Otaduy M. A. Efficient simulation of knitted cloth using persistent contacts. *SCA'15: Proceedings of the 14th ACM SIGGRAPH Eurographics Symposium on Computer Animation*. 2015. P. 55–61. DOI: <https://doi.org/10.1145/2786784.2786801>.

114. Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Колиско О. З., Боброва С. Ю. Каркасна модель одноосного розтягування кулірного трикотажу вздовж петельних стовпчиків. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2021. № 1 (154). С. 43–53. DOI:10.30857/1813-6796.2021.1.4.

115. Боброва С. Ю., Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Колиско О. З. Каркасна модель розтягування кулірного трикотажу вздовж петельних рядів. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 3. С. 60–69. DOI:10.30857/2786-5371.2021.3.6.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1 Характеристика обраних видів високоміцних ниток для виготовлення дослідних зразків трикотажних матеріалів

Для реалізації завдань дослідження з виявлення впливу особливостей процесу формування на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) петель трикотажного матеріалу на параметри його структури й характеристики стійкості до дії механічних ушкоджень обрано високомолекулярні поліетиленові та пара-арамідні нитки 44 текс компанії Shaanxi Sunriseetech Co., Ltd., Китай. Характеристика використаних видів сировини наведена у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1

#### Характеристика високомолекулярних поліетиленових ниток

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Питоме розривне навантаження комплексної нитки, кгс/текс, не менше	19
2	Коефіцієнт варіації по розривному навантаженню, %, не більше	7
3	Видовження при розриві, %, не менше	4
4	Кількість кручень на 1 м нитки, кр/м	0
5	Масова частка замаслювача, %	1,0-2,0
6	Модуль пружності при розтягуванні, грам/текс	≥11800

## Характеристика високоміцних пара-арамідних ниток

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Питоме розривне навантаження комплексної нитки, кгс/текс, не менше	16
2	Коефіцієнт варіації по розривному навантаженню, %, не більше	5
3	Відхилення фактичної лінійної густини від номінальної, %	±7,0
4	Видовження при розриві, %, не менше	2,8
5	Кількість кручень на 1 м нитки, кр/м	100±10
6	Масова частка замаслювача, %	1,0-2,0
7	Модуль пружності, Гпа, не менше	103

**2.2 Характеристика обраних типів плосков'язального обладнання**

Дослідні зразки трикотажних матеріалів переплетення гладь виготовлені на двох типах плосков'язального обладнання 8 класу: плоскофангова машина типу ПВРК без використання платин та плосков'язальний рукавичковий автомат ПА-8-33 з патинами. Характеристика в'язального обладнання наведена у таблицях 2.3 та 2.4.

Таблиця 2.3

## Технічна характеристика плоскофангової манити ПВРК

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Клас	8
2	Робоча ширина голечниці, мм	1000
3	Кількість голечниць	2
4	Кількість в'язальних систем	1
5	Кількість нитководів	4
6	Кількість позицій голок	2
7	Кількість позицій підголкових пружин	2
8	Хід замкової каретки	змінний
9	Мінімальний хід замкової каретки, мм	300
10	Лінійна швидкість переміщення каретки (середня), м/с	0,9
11	Потужність електродвигуна, кВт	0,4

## Продовження табл.2.3

12	Габаритні розміри, мм: довжина при робочій ширині голечниці 1000 мм довжина при робочій ширині голечниці 1000 мм ширина висота	1700 1500 700 2080
13	Маса напівавтомата, кг	400

Таблиця 2.4

## Технічна характеристика рукавичкового автомату (РА) ПА-8-33

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Клас	8
2	Кількість голкових пазів у двох голечницях, шт.	208
3	Кількість голечниць	2
4	Кількість в'язальних систем	1
5	Кількість нитководів, шт	6
6	Хід замкової каретки, м/с	0,84
7	Кількість подвійних ходів каретки за хвилину при роботі на всій ширині голечниці, под.ход./хв.	37,5
8	Лінійна швидкість каретки при в'язанні / при переключенні, м/с	0,84 / 0,42
9	Потужність електродвигуна, кВт	0,45 / 0,75
10	Габаритні розміри, мм: ширина глибина висота	1200 790 2200
11	Маса напівавтомата, кг	550

### 2.3 Методи дослідження параметрів та властивостей текстильних матеріалів

У дисертаційній роботі при вивченні характеристик розроблених зразків трикотажних матеріалів використано існуючі стандартизовані методи досліджень. Попередньо здійснено підготовку проб у відповідності до ДСТУ EN 14970:2018 [1].

### **2.3.1 Методи визначення параметрів петельної структури трикотажного матеріалу**

Довжину нитки в петлі визначено шляхом розпуску петельної структури трикотажу згідно з ДСТУ EN 14970:2018 [1]. Довжина відрізка нитки, взятого зі зразка трикотажного матеріалу шляхом розпуску певної кількості петель, вимірюється під відповідним натягом. Довжину нитки в петлі визначено розрахунковим методом у результаті поділу вимірної в міліметрах довжини відрізка нитки на кількість розпущених петель. Для вимірювання довжини нитки береться щонайменше 10 відрізків ниток з кожного ряду. Ступінь точності засобу вимірювання прийнято еталонним значенням інструментів вимірювання довжини відрізка нитки, з похибкою не більше 0,5 см.

Число петельних рядів та стовпчиків у 100 мм кожного з розроблених зразків трикотажних полотен визначено з використанням лінійки та текстильної лупи згідно з ДСТУ EN 14970:2018 [1] з похибкою  $\pm 1,0$  мм. Для отримання точних даних виконано по 10 повторних випробувань з кожного зразка.

Товщину полотен встановлено згідно з ДСТУ ISO 5084:2004 [2] за допомогою вимірювального приладу товщиноміра, що дозволяє аналізувати товщину матеріалу. При цьому сила тиску площадки площею  $50 \text{ мм}^2$  на пробу трикотажного матеріалу складала 0,2 кПа. Діапазон вимірювань до 10 мм, крок вимірювань (дискретність) – 0,01 мм з похибкою  $\pm 0,03$  мм.

Поверхневу густину зразків трикотажних матеріалів визначено відповідно до ДСТУ ISO 7211- 6:2007 [3] шляхом зважування проби за нормальних кліматичних умов на електронних лабораторних вагах з точністю 0,001 г.

### **2.3.2 Методи визначення стійкості трикотажних матеріалів до дії механічних ушкоджень: розривальне зусилля, прокол стержнем, продавлювання кулькою, прорізування**

Дослідження показників опору прикладеному розривальному зусиллю, проколу стержнем та продавлюванню кулькою розроблених зразків



трикотажних матеріалів з високоміцних ниток проведено згідно відповідних стандартизованих методик в акредитованій лабораторії КНУТД АДВЛ «Текстиль-ТЕСТ» на універсальній тестовій машині електронного типу моделі WDW-5ES. Показник опору різанню лезом дискового ножа встановлено у відповідності до стандартизованого методу випробувань в акредитованій лабораторії ДП «Укрметртестстандарт».

Розривальне навантаження на вхідну сировину визначено на розривній машині електронного типу з однаковим прикладеним зусиллям згідно з ДСТУ ISO 2062:2004 [4], ДСТУ ISO 2062:2015 [5], що забезпечує похибку вимірювання розривного навантаження  $\pm 1\%$ . У ході випробувань розривних характеристик високоміцних ниток змінювали затискну довжину від 25 мм до 300 мм, для встановлення характеру впливу кількості ниток, що опирається розриву, на величину розривального навантаження та видовження, у ході випробувань використано проби у 3 та 6 кінців. Для виявлення характеру руйнування ниток у точці переплетення досліджено проби з двох ниток лінійної густини 44 текс $\times$ 3 петлею при затискній довжині 100 мм. Таким чином сумарна лінійна густина відповідає нитці у 6 складень. Також змінювали розташування точки переплетення ниток по відношенню до нижнього та верхнього затискачів розривної машини (25 $\times$ 75 мм, 50 $\times$ 50 мм, 75 $\times$ 25 мм). Всі проби виконано при сталій швидкості верхнього рухомого затискача, 100 мм/хв, з відхиленням  $\pm 0,5\%$ .

Для виявлення впливу робочих органів плосков'язального обладнання, які огинає нитка у процесі формування петель, досліджено показники розривального навантаження та видовження високоміцних пара-арамідних та високомолекулярних ниток, взятих з вироблених на двох різних типах в'язального обладнання (з платинами та без) при максимальній щільності зразків трикотажних матеріалів. При цьому затискну довжину при проведенні випробувань змінювали від 25 мм до 300 мм.

Показники міцності трикотажного матеріалу визначено у відповідності до існуючої стандартизованої методики ДСТУ EN ISO 13934-1:2018 [6] з відносною

похибкою не більше  $\pm 1\%$ . З використанням розривної машини моделі WDW-5ES з рухомим верхнім затискачем, який рухається зі сталюю 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 200 мм×50 мм (у напрямку петельних рядів та стовпчиків) з середини полотен виготовлених на двох типах плосков'язального обладнання (з платинами та без) трикотажних матеріалів, з двох видів сировини. Проби закріплювалися у затискачі меншим краєм таким чином, щоб проба знаходилася по центру затискача, затискна довжина складає 100 мм. 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 глибини кулірування (вхідного параметра).

Показники стійкості до продавлювання кулькою та проколу стержнем встановлено з використанням розривної машини. Метод випробування стійкості трикотажного матеріалу до продавлювання кулькою PN-EN ISO 3379:2015 [8] та проколу стержнем EN 388-2019 [9] 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 сталева кулька діаметром 25 мм, яка рухається вниз зі сталюю швидкістю 100 мм/хв до руйнування трикотажного матеріалу. Перед початком дослідження кулька повинна знаходитися у центрі проби та торкатися його поверхні. Показники опору текстильного матеріалу вимірюються в Ньютонах, а зі шкали видовження показник «стріли прогину» в мм [7].

Для випробування стійкості матеріалу до проколу стержнем згідно з стандартизованою методикою EN 388-2019 [9] кульку заміняють 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 електронного типу моделі WDW-5ES становить до 5000Н.

Опір різанню лезом дискового ножа розроблених зразків трикотажних матеріалів встановлено згідно стандартизованою методикою EN 388:2019 [9]. Попередньо готуються проби прямокутної форми розміром 60 мм×100 мм під кутом 45° відносно петельних стовпчиків та рядів. Проби підлягають прорізуванню обертовим плаваючим лезом дискового ножа діаметром 45 мм, який здійснює зворотно-поступальне переміщення зі сталим навантаженням 5Н, на спеціалізованій прорізувальній машині Mover Мод.5111 з дисковим ножом. Вимірювання ґрунтується на порівнянні результатів, отриманих при прорізуванні контрольного зразка для випробувань (тканина еталон спеціальної будови та складу [10] характеристика представлена в таблиці 2.5) та досліджуваного зразка трикотажного матеріалу, що підлягає випробуванню.

Використання матеріалу-еталону, який прорізається до та після проведення випробувань, дозволяє урахувати притуплення ножа під час випробувань. Електронний лічильник вимірює кількість циклів різання до того, як лезо ввійде в контакт зі струмопровідною гумою, розташованою під дослідним зразком. У цей момент електронна схема автоматично зупиняє машину. Інтегрований показник, що визначає рівень стійкості текстильного матеріалу до прорізування визначається за математичною формулою, визначеною стандартом EN 388 [9].

Рівень стійкості трикотажного матеріалу до проколу та порізу визначають у відповідності до стандарту EN 388 [9] за показниками, наведеними у таблиці 2.6.

Характеристика контрольного полотна для контрольних вимірювань  
опору прорізування

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>	525 ± 5%
2	Кількість ниток по основі, шт/см	28 ± 5 ниток
3	Кількість ниток по ниткам підкання, шт/см	9 ± 4 ниток
4	Лінійна густина нитки основи, текс	85 ± 10%
5	Лінійна густина ниток підкання, текс	263 ± 10%
6	Структура та крутка нитки основи, об/м	Подвійне скручування, 370 ± 10%
7	Крутка ниток підкання, об/м	Потрійне скручування 181 ± 10%
8	Товщина, мм	1,0 ± 0,1
9	Розривне навантаження по основі, Н	Не менше 1300
10	Розривне навантаження по ниткам підкання, Н	Не

Таблиця 2.6

Рівні стійкості текстильного матеріалу до механічних впливів

Випробування	Рівень				
	1	2	3	4	5
Поріз циркулярним ножом (індекс)	1,2	2,5	5,0	10,0	20,0
Стійкість до проколу (Н)	20	60	100	150	–

У нашому випадку ми маємо справу з трикотажною структурою, в якій формування текстильного матеріалу відбувається шляхом послідовного згинання відрізка нитки та утворення ряду петель. І опір різанню чинять не прямолінійні, а криволінійні відрізки ниток. Тому з метою вивчення характеру впливу структури переплетення текстильного матеріалу у вигляді петель, форма яких відрізняється в залежності від обраного типу плосков'язального обладнання (з платинами або без), підготовку проб розміром 100 мм×60 мм для здійснення прорізування циркулярним ножом виконано у трьох напрямках: під кутом 45° як передбачає EN 388-2019 [9], вздовж петельного ряду та вздовж петельного стовпчика.

## 2.4 Характеристика обладнання для визначення розривального навантаження та видовження, проколу стержнем та продавлювання кулькою

Для проведення випробувань застосовують розривні машини з постійною швидкістю зростання навантаження та деформування, що забезпечують похибку вимірювання розривного навантаження  $\pm 1\%$ , а при використанні автоматичного обладнання  $\pm 2\%$ . Похибка при визначенні зміни довжини повинна бути  $\pm 1$  мм.

Оскільки високомолекулярні поліетиленові та пара-арамідні нитки відносяться до високоміцних, то для визначення розривних характеристик обрано розривну машину електронного типу моделі WDW-5ES, технічна характеристика якої наведена у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Технічна характеристика розривної машини WDW-5ES

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Модель	WDW-05M
2	Максимальне навантаження	5 кН
3	Мінімальний показник зсуву	0,01 мм
4	Відносна похибка індикації	$\pm 0,5\%$
5	Відносна похибка повторюваності індикації випробувального зусилля	$\leq 0,5\%$
6	Відносна похибка нуля випробувального зусилля	$\pm 0,01\%$ повної шкали
7	Діапазон швидкостей навантаження	0,01-500 мм/хв
8	Тестовий простір	800 мм
9	Метод завантаження	електричний
10	Вольтаж	220В $\pm 10\%$ 50Гц / 60Гц
11	Вага	100 кг

## 2.5 Характеристика обладнання для визначення стійкості прорізуванню дисковим лезом

Рівень стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів до порізу циркулярним ножом встановлено у відповідності до методики європейського стандарту EN 388-2019 на спеціалізованій прорізувальній машині Muver Мод.5111, яка призначена для перевірки стійкості до порізів шкіри, тканин з покриттям, поліамідів та інших матеріалів, які використовуються для захисних рукавичок.. Технічна характеристика наведена у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Технічна характеристика машини до порізів Muver Мод.5111

№ з/п	Назва характеристики	Значення
1	Горизонтальне переміщення диска, мм	50
2	Регулююча синусоїдальна швидкість диска, см/с	$8 \pm 2$
3	Груз, прикладений до диска, Н	$5 \pm 0,05$
4	Дискове лезо діаметром, мм	$45 \pm 0,5$
5	Товщина диска, мм	$0,3 \pm 0,03$
6	Кут ріжучої частини	30 – 35
7	Жорсткість диска, НV	700 ÷ 720
8	Опори з електропровідної гуми,	$80 \pm 3$
9	Затискні рами до проб, мм	60 / 100
10	Автоматичні системи виявлення моменту наскрізного порізу	
11	Лічильник циклів	

## 2.6 Планування експериментальних досліджень на двох типах плосков'язального обладнання

У якості вхідного параметра для проведення експерименту обрано глибину кулірування. Для забезпечення нормального перебігу процесу петлетворення на двох обраних нами типах плосков'язального обладнання 8 класу без платин (плоскофанговий напів-автомат типу ПВРК) та за участю платин (представником такого типу в'язального обладнання є рукавичковий автомат (РА) ПА-8-33) у ході попереднього експерименту з використанням двох видів високоміцних

ниток (високомолекулярної поліетиленової (*UHMWPE* або *pE*) та пара-арамідної (*pA*) ниток лінійної густини 44текс×3 встановлено мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування.

У ході реалізації активного експерименту за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання глибина кулірування змінювалася на п'яти рівнях у заданому діапазоні. При виготовленні дослідних зразків на плоскофанговому напів-автоматі ПВРК, де зусилля відтягування полотна забезпечується гребінкою з тягарцями, мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування складали для *UHMWPE* нитки  $h_{\min} = 3,2$ ;  $h_{\max} = 3,56$  мм, для *pA* нитки  $h_{\min} = 3,09$ ;  $h_{\max} = 3,45$  мм, глибина кулірування змінювалася на 5 рівнях з кроком 0,1 мм за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання, та сталого зусилля відтягування полотна 3,498 кг.

У разі виготовлення на рукавичковому автоматі (РА), на якому утримання петель та зусилля відтягування полотна забезпечується горловинами платин, мінімальний та максимальний рівні глибини кулірування для *UHMWPE* нитки складали  $h_{\min} = 3,55$ ;  $h_{\max} = 3,95$  мм, для *pA* нитки  $h_{\min} = 3,4$ ;  $h_{\max} = 3,8$  мм, з кроком зміни глибини кулірування – 0,9 мм.

Дослідні зразки трикотажних матеріалів вироблено на плосков'язальному обладнанні двох типів при однаковій кількості працюючих голок (100 голок у заправці).

Для обробки даних впливу зміни вхідного параметра на досліджувані показники якості одержаних трикотажних матеріалів використано метод регресійного аналізу при традиційному плануванні активного експерименту [11]. Для обробки результатів експерименту та побудови графіків за середніми значеннями показників використано програму Microsoft Excel.

## Висновки до розділу 2

1. Для проведення досліджень параметрів структури та фізико-механічних характеристик розроблених зразків трикотажних матеріалів використано відповідні стандартизовані методики.

2. Для виготовлення дослідних зразків трикотажних матеріалів використано два типи плосков'язального обладнання 8 класу: з платинами типу рукавичковий автомат (РА) ПА-8-33 та без платин типу ПВРК з загальним зусиллям відтягування полотна. У якості сировини обрано два види високоміцних ниток лінійної густини 44 текс компанії Shaanxi Sunriseetech Co., Ltd., Китай (високомолекулярний поліетилен та пара-арамід) при їх заправці у нитковід у 3 кінці.

3. У ході попередніх досліджень на кожному з двох типів плосков'язального обладнання (з платинами та без) 8 класу у відповідності до обраних видів високоміцних ниток встановлено нижній та верхній рівні глибини кулірування, що забезпечують нормальний перебіг процесу петлетворення, та крок варіювання вхідного параметра. Для плосков'язальної машини типу ПВРК визначено вагу тягарців (3,498 кг), що забезпечують належне без зривів полотна виконання операцій процесу петлетворення за умови 100 голок у заправці.

4. Для виявлення впливу зміни глибини кулірування на параметри структури й властивості трикотажного матеріалу з двох видів високоміцних ниток (високомолекулярні поліетиленові *pE*, пара-арамідні *pA*), призначеного для захисту від механічних ушкоджень, та формування технологічних засад його виготовлення з заданими показниками якості на плосков'язальному обладнанні двох типів реалізовано однофакторний експеримент зі встановленням відповідних регресійних математичних залежностей.



## Список використаних джерел до розділу 2

1. ДСТУ EN 14970:2018. Матеріали текстильні. Трикотажні полотна. Визначення довжини петлі та лінійної густини ниток у поперечно-в'язаних полотнах (EN 14970:2006, IDT) ; чинний від 2018-11-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2018.
2. ДСТУ ISO 5084:2004. Матеріали текстильні. Визначання товщини текстильних матеріалів та текстильних виробів (ISO 5084:1996, IDT) ; чинний від 2024-01-25. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. IV, 5 с. Визначення товщини текстильних матеріалів та виробів за допомогою товщиноміра з похибкою показань приладу +/-0,03 мм.
3. ДСТУ ISO 7211-6:2007. Матеріали текстильні. Методи аналізу структури тканини. Частина 6. Метод визначення поверхневої густини тканини (ISO 7211-6:1984, IDT). ; чинний від 2009-10-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
4. ДСТУ ISO 2062:2004. Матеріали текстильні. Пряжа з паковань. Визначання розривального навантаження та видовження під час розривання (ISO 2062:1995, IDT) ; чинний від 2006-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 8 с.
5. ДСТУ ISO 2062:2015. Текстиль. Пряжа в упаковках. Визначення розривного зусилля і відносного подовження під час розривання одиначної нитки із застосуванням приладу для випробування на розтягування з постійною швидкістю (CRE) (ISO 2062:2009, IDT). На заміну ГОСТ 6611.2-73 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88) ; чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2015.
6. 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 2018-07-20. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2018.
7. GOST 8847-85 Knitted fabrics. Methods for determination of breaking characteristics and extensibility under loads less than breaking loads. Не діє в Україні.

8. PN-EN ISO 3379:2015. Leather – Determination of Distension and Strength of Surface (Ball Burst Method).
9. 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
10. Tenthorey de la Plaine : official website. URL: <https://tenthorey.com/> (date of access: 13.06.2024).
11. Ключко О. І. Дослідження у трикотажній галузі: навч. посіб. Київ : КНУТД, 2006. 190 с.

## РОЗДІЛ 3

# ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУ ПЕТЕЛЬ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК

### 3.1 Дослідження особливостей процесу формування петель на різних типах плосков'язального обладнання

У ході попередніх досліджень [1–6] нами виявлено, що на зміну форми осьової лінії нитки в петлі та параметри структури трикотажу впливає не лише вид надміцних ниток, але й тип в'язального обладнання. При цьому у роботах [1–3] нами не ставилося за мету виявлення характеру впливу технологічних параметрів в'язального обладнання на параметри структури та властивості одержаного трикотажного матеріалу. І саме формування технологічних засад виготовлення на плосков'язальному обладнанні двох різних типів (з платинами та без) трикотажних матеріалів з високоміцних ниток для забезпечення захисту від механічних ушкоджень стало напрямом для подальших досліджень.

За результатами виготовлення трикотажного матеріалу з високоміцних ниток на плосков'язальному обладнанні двох різних типів встановлено, що у разі їх вироблення на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК формування петель та забезпечення виконання окремих операцій процесу петлетворення відбувається за рахунок загального зусилля відтягування, яке прикладене до полотна. При цьому зусилля відтягування полотна забезпечується гребінкою з тягарцями, а відбійною площиною для петель, що формуються, слугують відбійні зубці голечниці. Під дією цього зусилля у процесі в'язання трикотажного матеріалу відбувається перерозподіл нитки з голкових та платинних дуг петель у палички (рис. 3.1). Внаслідок цього нитка в петлях зорієнтована у напрямку петельних стовпчиків. Розмір сформованих голкових та платинних дуг, що огинають дві палички петель, залежить від діаметра нитки у стиснутому стані (умовного діаметра) [4, 5].

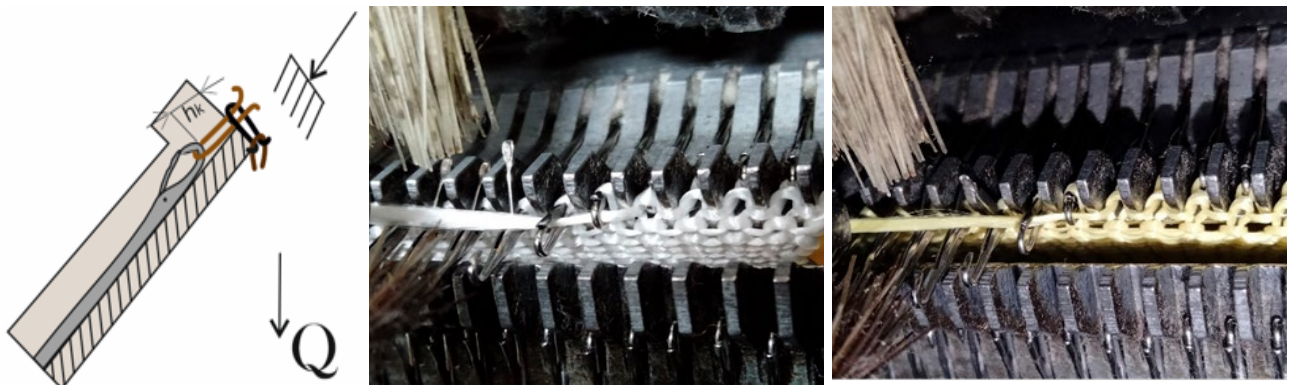


Рис. 3.1 Процес формування петель на плосков'язальній машині типу ПВРК без платин

При цьому на іншому типі плосков'язального обладнання з платинами типу рукавичкового автомату ПА-8-33 (РА) зусилля відтягування полотна забезпечується завдяки підборіддям платин, які створюють відбійну площину при формуванні нових петель заданого розміру та утримують своїми горловинами платинні дуги петель від підйому разом з голкою під час виконання операції замикання (рис.3.2). Ця відмінність у виконанні операцій процесу петлетворення впливає як на формоутворення петель, так і на параметри структури одержаного трикотажного матеріалу.

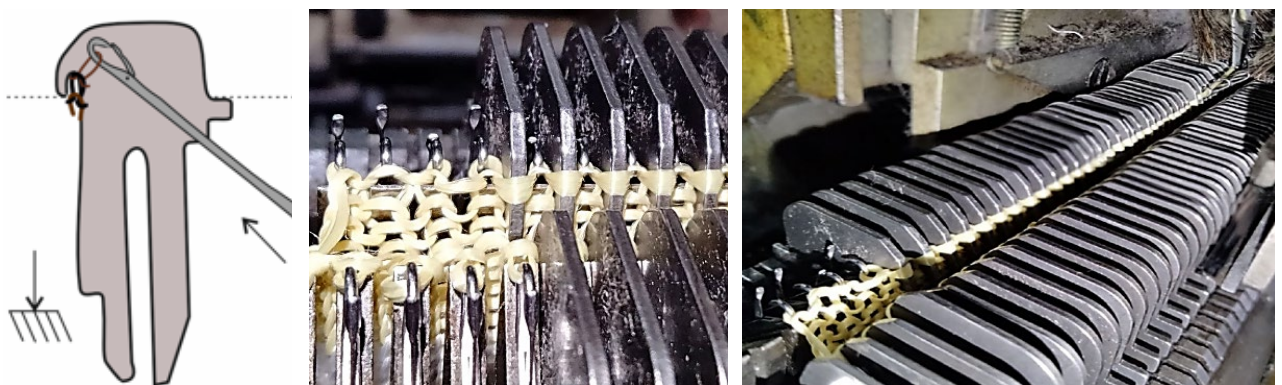


Рис. 3.2 Процес формування петель на плосков'язальній машині типу РА

Нами попередньо під час візуального огляду одержаних зразків трикотажних матеріалів виявлено, що на обладнанні без платин формуються петлі більш витягнутої форми. При цьому на плосков'язальному обладнанні з платинами нитка в петлі зорієнтована пропорційно у поздовжньому та поперечному напрямках, тобто має більш прямокутну форму. Крім того, встановлено, що у процесі петлетворення без участі платин зі зворотно-поступальним рухом каретки при використанні пара-арамідних ниток для

виготовлення трикотажного матеріалу порушується традиційна геометрія нитки в петлі й формується зигзагоподібна будова петель у петельному стовпчику.

Плоскофангова машина типу ПВРК та рукавичковий автомат ПА-8-33 забезпечують в'язально-в'язальний послідовний процес петлетворення без розподілу [7], тобто кулірування (згинання) нитки відбувається у момент опускання внутрішньої точки гачка голки нижче відбійної площини. На рис. 3.3 та рис. 3.4 наведено процес петлетворення на двох типах плосков'язального обладнання: типу ПВРК (без участі платин) та РА (з платинами).

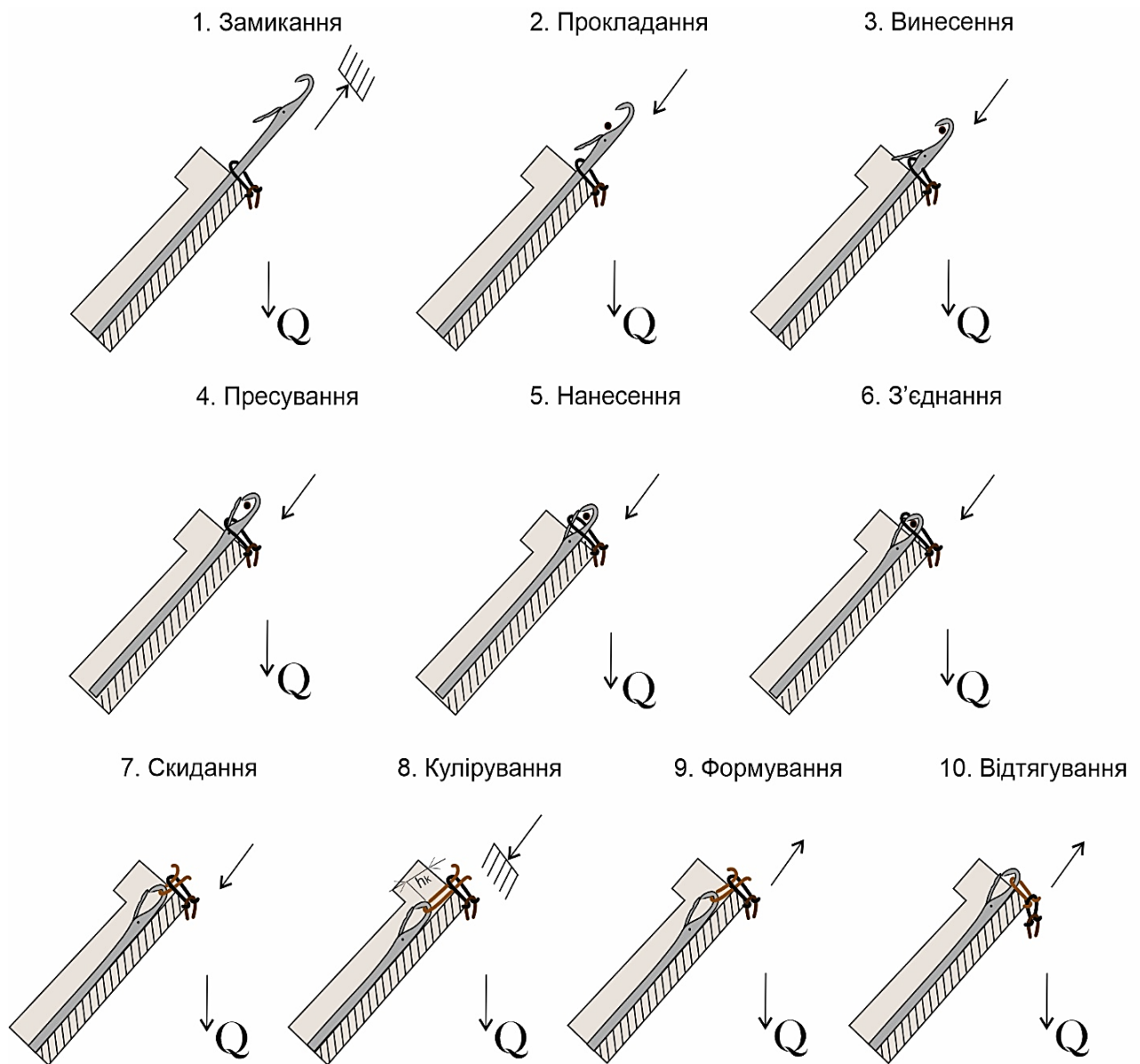


Рис. 3.3 Процес петлетворення на плоскофанговій машині типу ПВРК без платин із загальним зусиллям відтягування за допомогою тягарців

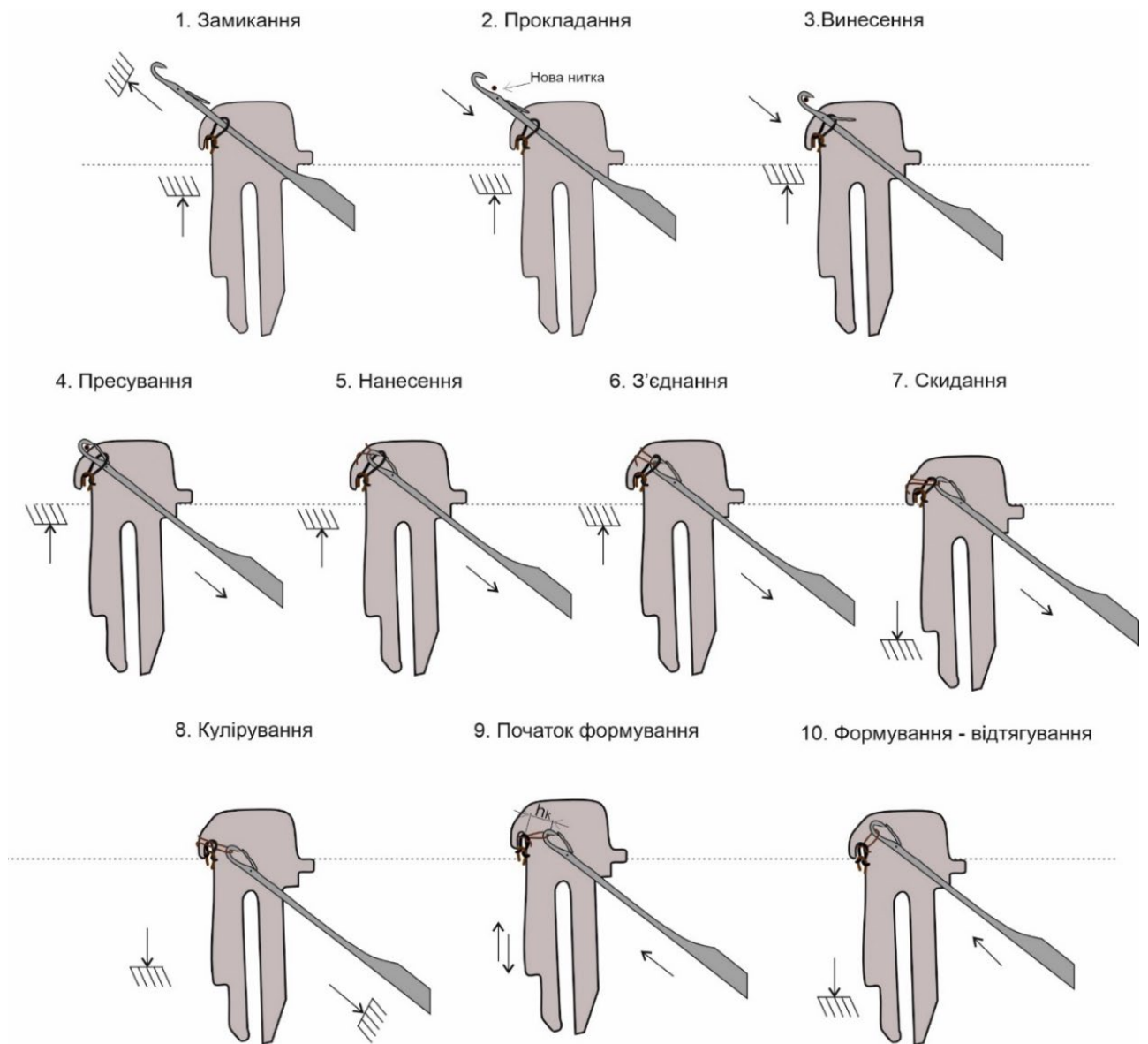


Рис. 3.4 Процес петлетворення на плосков'язальній машині типу рукавичковий автомат з платинами, які своїми горловинами забезпечують виконання операції відтягування

Як видно з рис. 3.4 та 3.5, відмінність у виконанні в'язально-в'язального процесу петлетворення без розподілу полягає у тому, що на плоскофанговій машині типу ПВРК відбійну площину під час формування петель утворюють відбійні зубці голечниці, а на рукавичковому автоматі ПА-8-33 кромка платин. При цьому горловини платин утримують старі петлі від переміщення разом з голкою та створюють зусилля відтягування на завершальному етапі формування нових петель. Для виявлення впливу особливостей протікання процесу петлетворення на двох різних типах плосков'язального обладнання з платинами

та без обрано машини однакового класу (8 клас) та включено у роботу однакову кількість голок. Кількість працюючих голок складала 100. При цьому на плоскофанговій машині без платин типу ПВРК із загальним зусиллям відтягування працюючі голки були розташовані в одній фонтурі. У ході попереднього експерименту встановлено величину загального зусилля відтягування, що забезпечуватиме нормальний перебіг процесу петлетворення у заданому діапазоні зміни щільності в'язання для обраних видів високоміцних ниток, які зазначено у розділі 2. Таким чином, на плосков'язальній машині типу ПВРК без платин виконання операцій процесу петлетворення та зокрема операції відтягування забезпечувалося гребінкою з тягарцями сумарною вагою 3498 г, тобто 34,98 г на одну голку. На рукавичковому автоматі типу ПА-8-33 з платинами, де у процесі в'язання утворюється трикотажний матеріал у вигляді трубки, кількість голок в одній фонтурі становила 50, тобто сумарна кількість голок складала 100.

На рис. 3.5 наведено фотозображення трикотажного матеріалу, одержаного при максимальній щільності в'язання (мінімальна глибина кулірування) з двох видів високоміцних ниток однакової лінійної густини (44 текс ×3) на плоскофанговій машині типу ПВРК без використання платин.

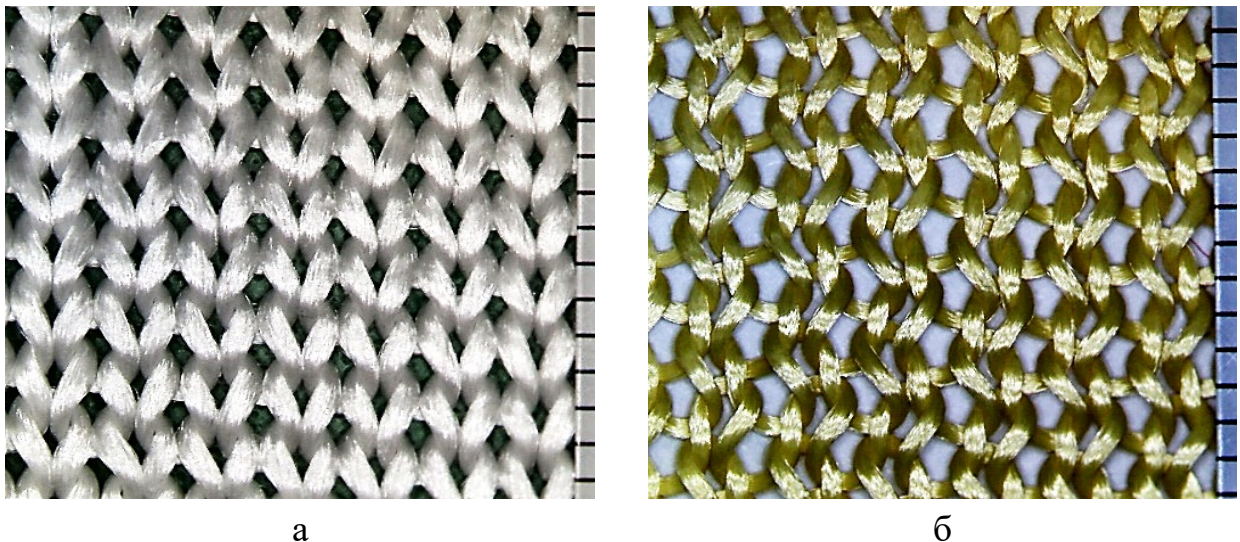


Рис. 3.5 Фото дослідних зразків з плоскофангової машини типу ПВРК без платин: а) *UHMWPE*  $h_{\min} = 3,2\text{мм}$ ; б) *pA*  $h_{\min} = 3,09\text{мм}$

Незважаючи на те що дослідні зразки виготовлені за однакових умов та на одному типі плосков'язального обладнання, структура трикотажного матеріалу, одержаного з двох видів високоміцних ниток однакової лінійної густини, але різних за властивостями, суттєво відрізняється.. Як видно з рис.3.5 трикотажний матеріал з високомолекулярного поліетилену має однакову рівномірну будову петель, водночас коли петельна структура трикотажу, виробленого з пара-арамідних ниток має зигзагоподібну будову. У процесі в'язання петлі нахилиються у напрямку руху каретки, тобто у напрямку формування петель, що обумовлено вхідним натягом нитки, заправленої у нитковід, який рухається разом з кареткою. Одержаний ефект можна пояснити проявом пружних властивостей пара-арамідних ниток під час зворотно-поступального руху каретки.

На рис. 3.6 наведено фото дослідних зразків трикотажного матеріалу, виробленого при максимальній щільності з двох обраних видів сировини однакової лінійної густини (44 текс × 3) на плосков'язальній машині типу рукавичковий автомат РА з платинами. Як видно, попри зміну виду високоміцних ниток, петлі мають симетричну будову без нахилу, незважаючи на що пояснюється наявністю платин у процесі формування петель.

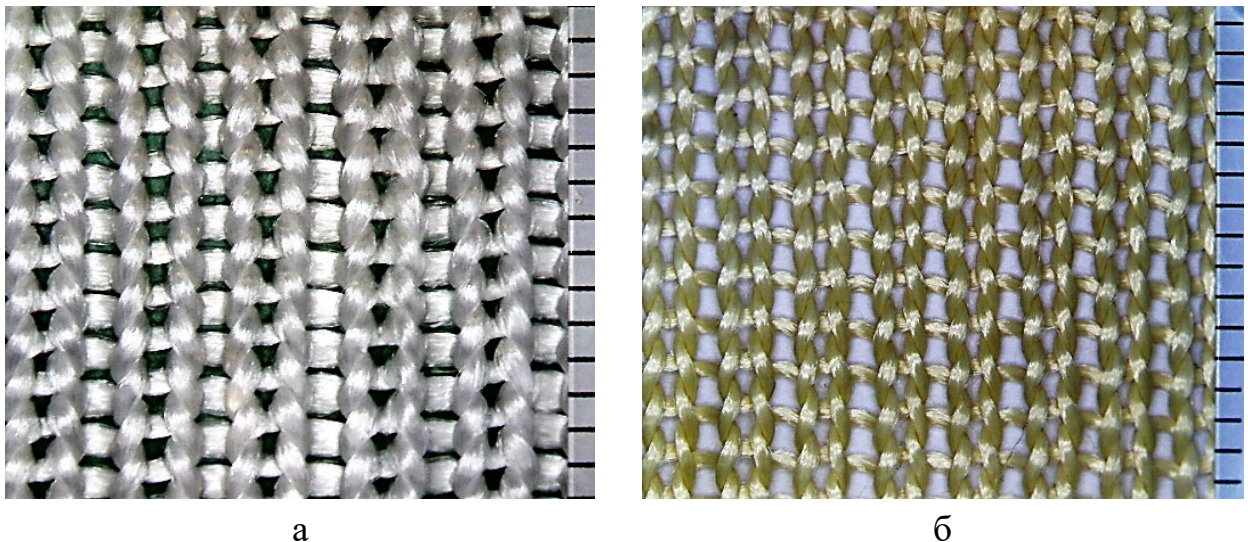


Рис. 3.6 Фото дослідних зразків з плосков'язальної машини типу рукавичковий автомат РА з платинами:

а) *UHMWPE*  $h_{\min} = 3,55\text{мм}$ ; б) *pA*  $h_{\min} = 3,4\text{мм}$



На рукавичному автоматі у процесі петлетворення платини не лише створюють своїми підборіддями відбійну площину для утворення петель заданого розміру, а й своїми горловинами забезпечують виконання зосередженої на платинних дугах петель операції відтягування [8].

Проаналізуємо вплив робочих органів плосков'язального обладнання з платинами та без на геометрію нитки в петлях у процесі їх формування. У разі вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні без платин під дією загального зусилля відтягування полотна  $Q$  відбувається перерозподіл нитки з платинних дуг у палички остовів петель (рис. 3.7).

Слід зазначити, що у місці контакту з внутрішньою поверхнею крючка голки комплексні за своєю будовою багатофіламентна високомолекулярна поліетиленова та пара-арамідна нитки під дією загального зусилля відтягування полотна сплющуються до діаметра  $d_{сп}$ , величину якого встановлено за допомогою товщиноміра. У точках переплетення зі старою петлею діаметр нитки відповідає умовному  $d_y$ . А в місцях паличок новостворених петель нитка досягає свого середнього діаметра  $d_c$ . Зусилля відтягування полотна  $Q$  під час формування петель зосереджене на паличках остовів петель. Тому в місцях контакту платинних дуг петель з відбійними зубцями голечниці комплексні нитки деформуються (стискаються) і їх діаметр відповідає умовному діаметру нитки  $d_y$ . У разі виготовлення дослідних зразків з пара-арамідної нитки, як вже зазначалося, внаслідок прояву їх пружних властивостей відбувається нахил остовів новостворених петель в сторону руху каретки (рис. 3.7). Після зняття трикотажного матеріалу з машини в структурі формується зигзагоподібна будова петель у петельному стовпчику.

Натомість нові петлі, утворені з багатофіламентної високомолекулярної поліетиленової та пара-арамідної ниток на обладнанні з платинами типу рукавичковий автомат РА (ПА-8-33) (рис.3.8) мають прямокутну форму.

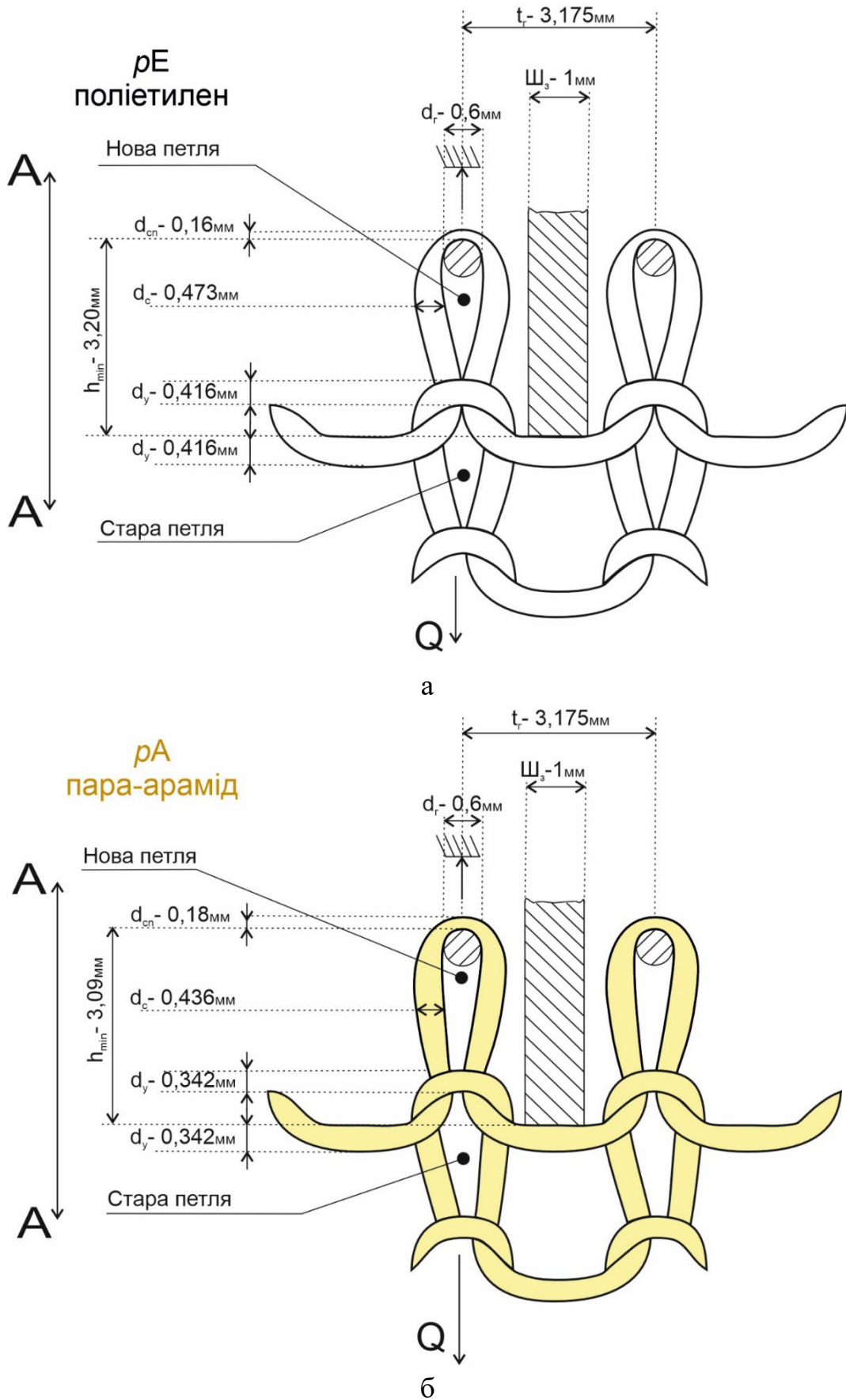


Рис. 3.7 Розташування петель відносно робочих органів машини без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; б) з *pA* нитки

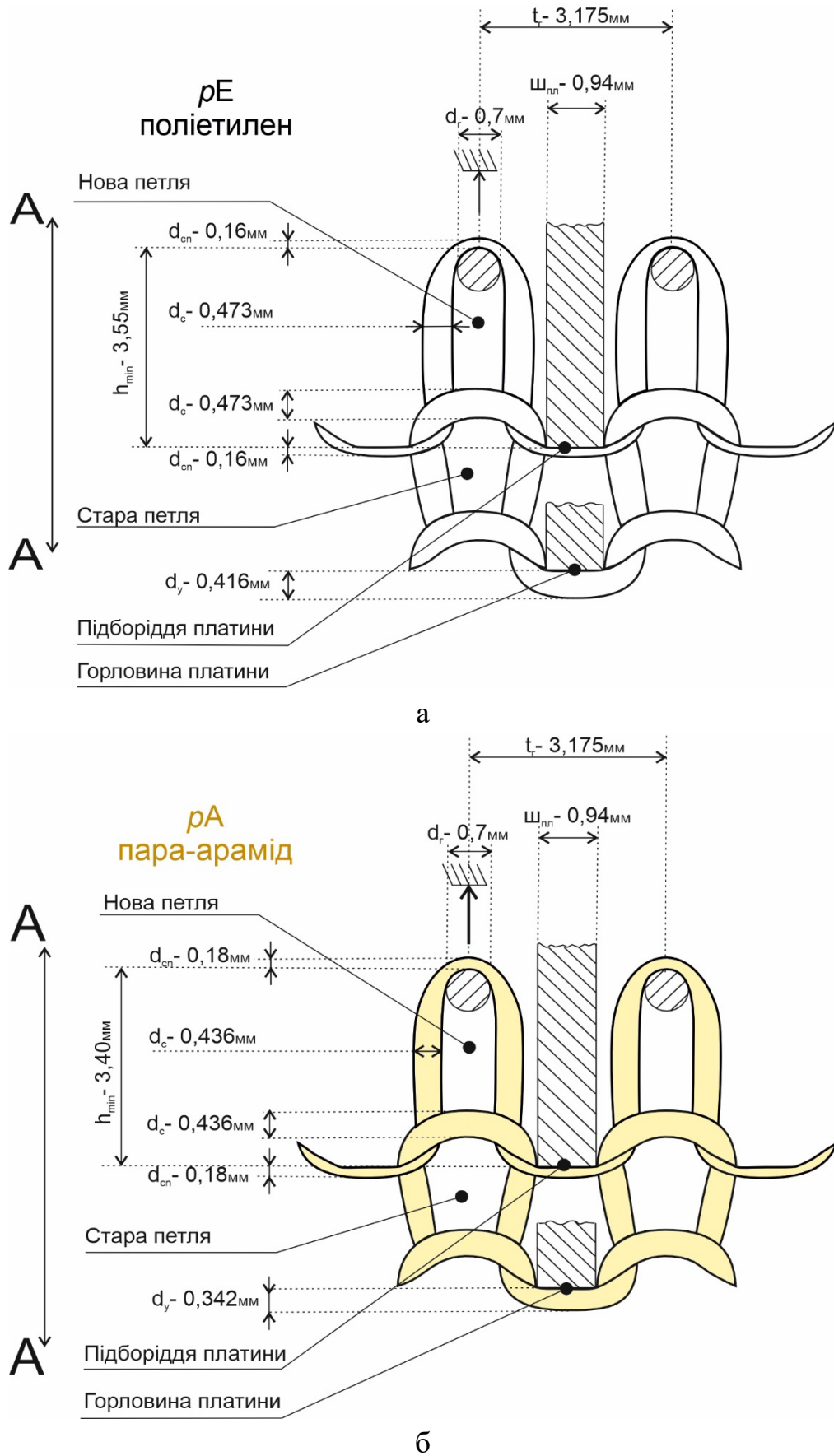


Рис. 3.8 Розташування петель відносно робочих органів машини з платинами типу PA: а) з UHMWPE нитки; б) з pA нитки

Це, як вже зазначалося, пояснюється тим, що у момент формування нових петель платинні дуги розташовуються на підборідді платини, а горловини платин утримують платинні дуги старих петель від підйому разом з голкою. Шляхом утримання платинами платинних дуг петель, сформованих у попередньому циклі петлетворення та відсутності додаткового прикладеного зусилля відтягування, яке діє на трикотажний матеріал, форма петель залишається незмінною після зняття його з машини.

Слід також зауважити, що при взаємодії нитки з внутрішньою поверхнею крючка голки, що опускається вниз та зусилля відтягування, створеного платинами, комплексні за своєю будовою багатофіламентна високомолекулярна поліетиленова та пара-арамідна нитки сплющуються до мінімального діаметра  $d_{сп}$ . При цьому у точках переплетення діаметр нитки старої петлі відповідає умовному  $d_y$ . В місцях паличок новостворених петель нитка досягає свого середнього діаметра  $d_c$ , а в області платинної дуги старої петлі, яка утримується горловинами платин, діаметр нитки відповідає умовному  $d_y$ .

Участь у процесі петлетворення платин дозволяє уникнути прояву пружних властивостей ниток та нахилу петель у трикотажному матеріалі, виробленому з пара-арамідних ниток. Таким чином, наявність платин на рукавичковому автоматі дозволяє отримати трикотажний матеріал без зигзагоподібної будови петель незалежно від обраного виду високоміцних ниток. Однак саме участь платин у процесі петлетворення не дозволяє досягнути максимально можливої у відповідності до товщини нитки щільності трикотажного матеріалу, оскільки платини фіксують (у відповідності до товщини платини) величину відрізка нитки в області платинних дуг. При виробленні трикотажного матеріалу на плоскофанговій машині без платин під дією загального зусилля відтягування полотна відбувається перерозподіл нитки з платинних дуг у палички остовів петель. Саме цей факт сприяє збільшенню розміру старої петлі та безперешкодному її скиданню на нову у процесі в'язання.

## 3.2 Теоретичні засади впливу типу плосков'язального обладнання (з платинами та без) на процес формування петель трикотажного матеріалу з високоміцних ниток

### 3.2.1 Визначення геометричних та інерційних характеристик пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток

Модуль жорсткості поліетиленових (рис.3.9 а) та пара-арамідних комплексних ниток (рис.3.9 б) безпосередньо впливає на величину навантажень, які виникають у нитці при формуванні петлі на плосков'язальних машинах, на форму самої петлі з урахуванням умов відтягування полотна, на силу тертя в зоні контакту ниток старої та нової петель.

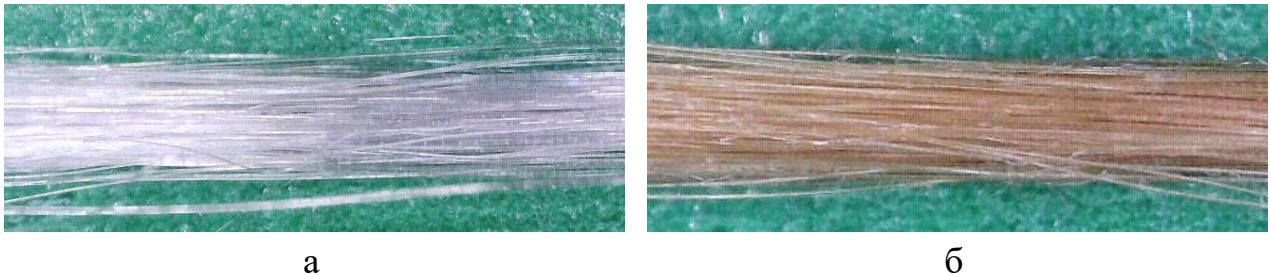


Рис.3.9 Загальний вигляд комплексних ниток 132 текс: а) *UHMWPE*; б) *pA*

До геометричних характеристик слід віднести площу перетину пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток, площу перетину окремих філаментів, діаметр філаментів, висоту сегмента деформованого перетину комплексних ниток, кількість шарів філаментів у перетині, центральний кут сегменту, радіус сегменту, довжину лінії контакту першого шару філаментів з напрямною поверхнею, ординату центра мас сегменту.

До інерційних характеристик слід віднести геометричний момент інерції перетину комплексних ниток для випадків: - деформований перетин має вигляд сегменту (рис.3.10 а); - деформований перетин нитки має форму наближену до кола (це може бути у випадку, коли скручування досягає критичної величини і комплексна нитка може розглядатися, як мононитка) (рис.3.10 б); - деформований перетин представляє шар, в якому розташовані всі філаменти, які контактують з напрямною поверхнею голки чи платини (це може бути у випадку,

коли скручування нитки має низьке значення, а сили натягу нитки мають значну величину) (рис.3.10 в). Другий та третій випадки є граничними, а перший перехідний. Залежно від фізико-механічних властивостей ниток, умов їх взаємодії з напрямними, перетин нитки в зоні контакту може наближатися до другого чи третього варіантів.

Розрахуємо площу перетину для пара-арамідної комплексної нитки:

$$S_{PA} = \frac{\pi d_{pA}^2}{4}, \quad (3.1)$$

де  $d_{pA}$  - середній діаметр перетину пара-арамідної комплексної нитки (результати представлені у таблиці 3.1).

Розраховуємо площу перетину для поліетиленової комплексної нитки:

$$S_{PE} = \frac{\pi d_{pE}^2}{4}, \quad (3.2)$$

де  $d_{pE}$  - середній діаметр перетину поліетиленової комплексної нитки (результати представлені в таблиці 3.1).

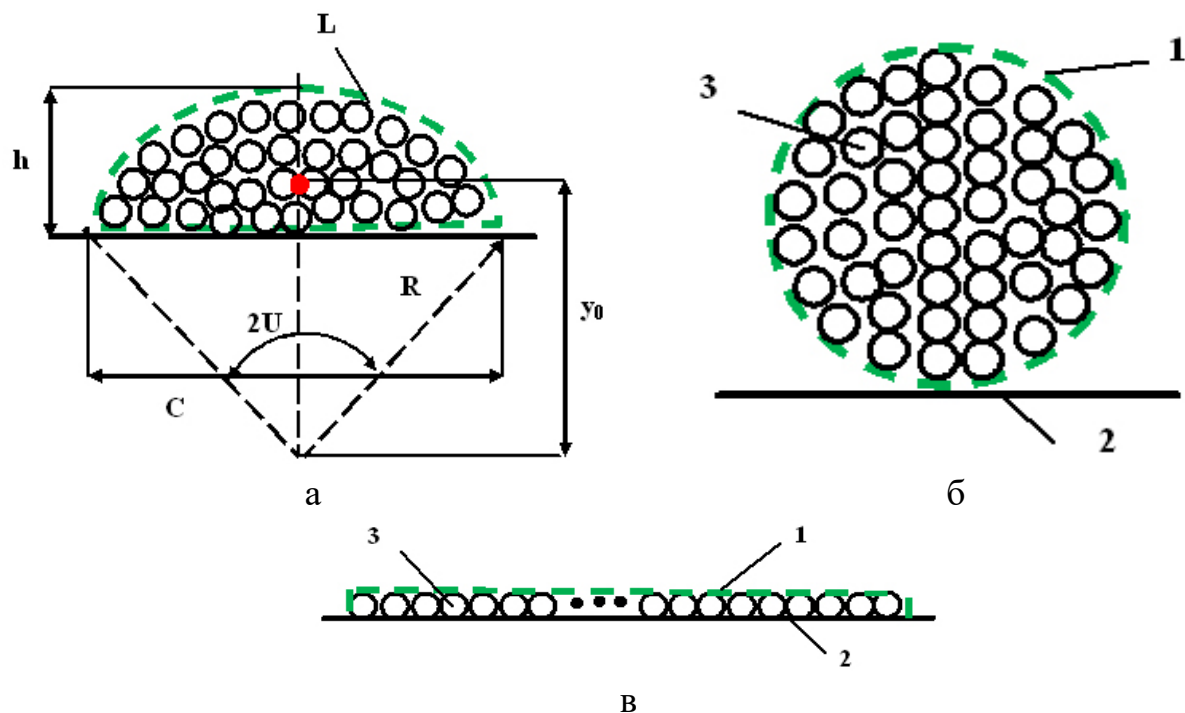


Рис.3.10 Форма перетину комплексних ниток:

1 - контур перетину; 2 – напрямна поверхня; 3 – контур філаменту

Визначимо площу перетину окремого філаменту. Враховуючи кількість філаментів та їх щільність розміщення в перетині комплексних ниток сумарної лінійної густини 132 текс ( $44 \text{ текс} \times 3$ ) представимо формулу для діаметра пара-

арамідної комплексної нитки, з урахуванням (3.1). У такому випадку площу перетину окремого філаменту визначаємо за формулою:

$$S_{FpA} = \frac{S_{pA}}{n_{FpA}} \quad (3.3)$$

де  $n_{FpA}$  - кількість філаментів для пара-арамідної нитки (див. таблицю 3.1).

Площа перетину філаменту поліетиленової комплексної нитки, з урахуванням (3.2), визначається за формулою:

$$S_{FpE} = \frac{S_{pE}}{n_{FpE}}, \quad (3.4)$$

де  $n_{FpE}$  - кількість філаментів для поліетиленової нитки (див. таблицю 3.1).

Розрахуємо діаметри окремих філаментів для пара-арамідної та поліетиленової комплексної нитки. З урахуванням (3.3) – (3.4), отримаємо:

$$d_{FpA} = \sqrt{\frac{4S_{FpA}}{\pi}}, \quad (3.5)$$

$$d_{FpE} = \sqrt{\frac{4S_{FpE}}{\pi}}. \quad (3.6)$$

Визначаємо кількість шарів в перетині сегменту для пара-арамідної нитки, з урахуванням (3.5). Отримуємо:

$$K_{pA} = \frac{h_{pA}}{d_{FpA}}, \quad (3.7)$$

де  $h_{pA}$  - максимальна висота сегменту (має змінне значення, яке залежить від умов взаємодії з напрямними, в нашому варіанті прийmemo – 0,18 мм).

Результати розрахунків представлені в таблиці 3.1.

Для поліетиленової комплексної нитки кількість шарів в перетині сегменту визначається, з урахуванням (3.6), за формулою:

$$K_{pE} = \frac{h_{pE}}{d_{FpE}}, \quad (3.8)$$

де  $h_{pE}$  - максимальна висота сегменту (має змінне значення, яке залежить від умов взаємодії з напрямними, в нашому варіанті прийmemo – 0,16 мм).

Для розрахунку геометричних моментів інерції перетину необхідно визначити параметри перетину сегменту (рис.3.10 а): центральний кут сегменту деформованого перетину; радіус сегменту деформованого перетину; довжину

лінії контакту бази сегменту деформованого перетину; ординату центра мас сегменту деформованого перетину. Основна система рівнянь, яка пов'язує дані параметри має вигляд:

$$\begin{aligned} h &= R\left(1 - \cos \frac{U}{2}\right), \\ 2F &= R^2(U - \sin U), \\ F_1 = F_{pA} = S_{pA} &= \frac{\pi d_{pA}^2}{4}, F_2 = F_{pE} = S_{pE} = \frac{\pi d_{pE}^2}{4}, \\ h_1 &= h_{pA}, h_2 = h_{pE}, \end{aligned} \quad (3.9)$$

де  $R$  - радіус сегменту деформованого перетину;

$U$  - центральний кут сегменту деформованого перетину.

Перші два рівняння системи (3.9) являють собою систему двох трансцендентних рівнянь з двома невідомими. Для її розв'язання необхідно використовувати чисельні методи. В роботі був реалізований модифікований метод Ньютона. При чисельному розв'язанні були використані наступні початкові значення невідомих параметрів:

– для пара-арамідної комплексної нитки:

$$x_{0pA}[1] = U_0 = 1.0,$$

$$x_{0pA}[2] = R_0 = 1.5,$$

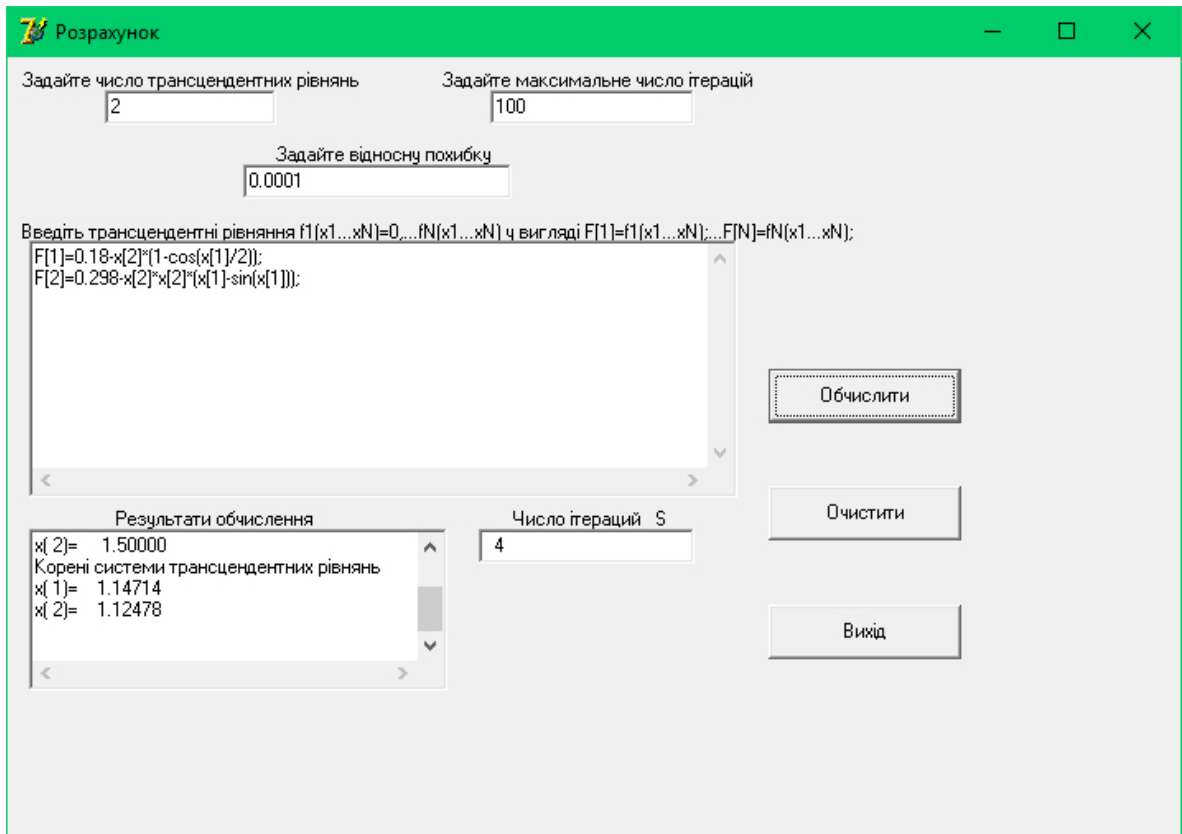
– для поліетиленової комплексної нитки:

$$x_{0pE}[1] = U_0 = 1.0,$$

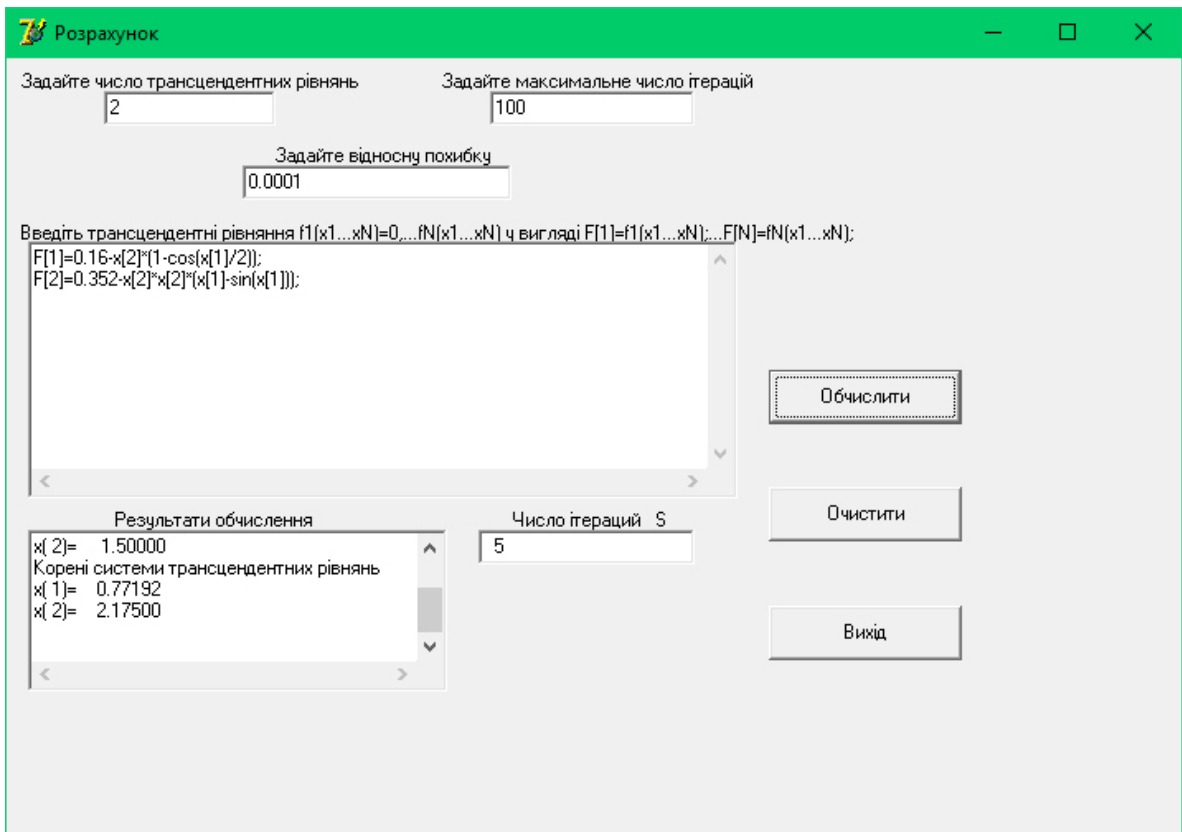
$$x_{0pE}[2] = R_0 = 1.5.$$

На рис.3.11 а, представлена головна форма програми для визначення центрального кута сегменту деформованого перетину, радіусу сегменту деформованого перетину пара-арамідної нитки. На рис.3.11 б, представлена головна форма програми для визначення центрального кута сегменту деформованого перетину, радіусу сегменту деформованого перетину поліетиленової нитки.





а



б

Рис.3.11. Головна форма програми для реалізації модифікованого методу Ньютона

$$F[1]=0.16-x[2]*(1-\cos(x[1]/2));$$

$$F[2]=0.352-x[2]*x[2]*(x[1]-\sin(x[1]));$$

У результаті розрахунків були отримані значення центрального кута сегменту деформованого перетину, радіусу сегменту деформованого перетину для пара-арамідної та поліетиленової комплексної нитки, які представлені в таблиці 3.1.

Визначимо довжину лінії контакту перетину сегмента з напрямною (рис.3.10 а):

– для пара-арамідної комплексної нитки:

$$C_{pA} = 2R_{pA} \sin \frac{U_{pA}}{2}, \quad (3.10)$$

– для поліетиленової комплексної нитки:

$$C_{pE} = 2R_{pE} \sin \frac{U_{pE}}{2}. \quad (3.11)$$

Результати розрахунків представлені в таблиці 3.1. На наступному етапі, з урахування залежностей (3.10) – (3.11), визначимо ординату центра мас сегменту деформованого перетину (рис.3.10 а):

– для пара-арамідної комплексної нитки:

$$y_{pA} = \frac{C_{pA}^3}{12S_{pA}} - R_{pA} \cos \frac{U_{pA}}{2}, \quad (3.12)$$

– для поліетиленової комплексної нитки:

$$y_{pE} = \frac{C_{pE}^3}{12S_{pE}} - R_{pE} \cos \frac{U_{pE}}{2}. \quad (3.13)$$

Значення ординати центра мас сегменту деформованого перетину для пара-арамідної та поліетиленової комплексної нитки представлені в таблиці 3.1.

Для визначення геометричного моменту інерції сегменту деформованого перетину пара-арамідної та поліетиленової комплексної нитки, з урахуванням (3.10) – (3.11), визначаємо кількість філаментів, які розташовані в шарі, який контактує з напрямною:

– для пара-арамідної комплексної нитки:

$$B^n = \frac{C_{pA}}{d_{FpA}},$$

– для поліетиленової комплексної нитки:

$$B^n = \frac{C_{pE}}{d_{FpE}}.$$

На рис.3.12 представлена схема для шарів філаментів в сегменті перетинів. Для пара-арамідної нитки сумарний геометричний момент інерції визначається за формулою:

$$I_{pA} = I_{pA}^1 + I_{pA}^2 + I_{pA}^3 + I_{pA}^4 + I_{pA}^5 + I_{pA}^6 + I_{pA}^7, \quad (3.14)$$

де  $I_{pA}^1$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_n$ ;

$I_{pA}^2$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-1}$ ;

$I_{pA}^3$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-2}$  (ордината даного шару співпадає з ординатою центра мас сегменту деформованого перетину);

$I_{pA}^4$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-3}$ ;

$I_{pA}^5$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-4}$ ;

$I_{pA}^6$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-5}$ ;

$I_{pA}^7$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-6}$ .

Необхідно відзначити, що для визначення  $I_{pA}^1, I_{pA}^2, I_{pA}^4 - I_{pA}^7$  відносно горизонтальної осі, яка проходить через центр мас сегменту деформованого перетину, необхідно використовувати теорему Гюйгенса-Штернера та додавати добуток квадрата відстані між віссю поточного шару та горизонтальною віссю, яка проходить через центр мас сегменту. Будемо вважати, що відстань між шарами дорівнює діаметру відповідного філаменту пара-арамідної та поліетиленової комплексної нитки.

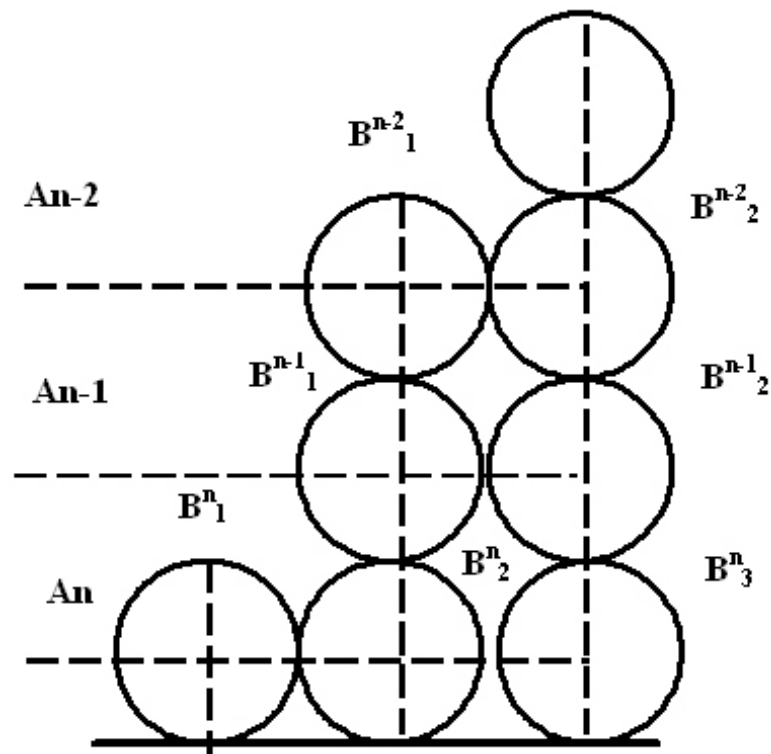


Рис.3.12 Розрахункова схема для шарів філаментів в сегменті перетинів

Визначимо складові геометричних моментів інерції перетинів філаментів по шарам, з урахуванням (3.14), отримаємо:

$$I_{pA}^1 = \sum_{i=1}^{49} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (2d_{FpA})^2 S_{FpA} \right] i,$$

$$I_{pA}^2 = \sum_{i=1}^{47} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (d_{FpA})^2 S_{FpA} \right] i,$$

$$I_{pA}^3 = \sum_{i=1}^{45} \left( \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} \right) i,$$

$$I_{pA}^4 = \sum_{i=1}^{43} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (d_{FpA})^2 S_{FpA} \right] i,$$

$$I_{pA}^5 = \sum_{i=1}^{41} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (2d_{FpA})^2 S_{FpA} \right] i,$$

$$I_{pA}^6 = \sum_{i=1}^{36} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (3d_{FpA})^2 S_{FpA} \right] i,$$

$$I_{pA}^7 = \sum_{i=1}^{33} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (4d_{FpA})^2 S_{FpA} \right] i. \quad (3.15)$$

Підставляємо (3.15) в (3.14) отримаємо залежність для визначення геометричного моменту інерції перетину пара-арамідної нитки та проводимо спрощення, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 I_{pA} &= I_{pA}^1 + I_{pA}^2 + I_{pA}^3 + I_{pA}^4 + I_{pA}^5 + I_{pA}^6 + I_{pA}^7 = \\
 &= \sum_{i=1}^{45} \left( \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} \right)_i + \sum_{i=1}^{90} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \\
 &+ \sum_{i=1}^{90} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (2d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \sum_{i=1}^{36} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (3d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \\
 &+ \sum_{i=1}^{33} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (4d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i. \tag{3.16}
 \end{aligned}$$

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.1.

Для поліетиленової нитки сумарний геометричний момент інерції визначається за формулою:

$$I_{pE} = I_{pE}^1 + I_{pE}^2 + I_{pE}^3 + I_{pE}^4 + I_{pE}^5 + I_{pE}^6 + I_{pE}^7, \tag{3.17}$$

де  $I_{pE}^1$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_n$  (ордината даного шару співпадає з ординатою центра мас сегменту деформованого перетину);

$I_{pE}^2$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-1}$ ;

$I_{pE}^3$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-2}$ ;

$I_{pE}^4$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-3}$ ;

$I_{pE}^5$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-4}$ ;

$I_{pE}^6$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-5}$ ;

$I_{pE}^7$  - сумарний геометричний момент інерції перетинів філаментів розташованих в шарі  $A_{n-6}$ .

Визначимо складові геометричних моментів інерції перетинів філаментів по шарам, з урахуванням (3.17), для поліетиленової нитки отримаємо:

$$\begin{aligned}
 I_{pE}^1 &= \sum_{i=1}^{71} \left( \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} \right)_i, \\
 I_{pE}^2 &= \sum_{i=1}^{69} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i, \\
 I_{pE}^3 &= \sum_{i=1}^{67} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (2d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i, \\
 I_{pE}^4 &= \sum_{i=1}^{65} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (3d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i, \\
 I_{pE}^5 &= \sum_{i=1}^{58} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (4d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i, \\
 I_{pE}^6 &= \sum_{i=1}^{56} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (5d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i, \\
 I_{pE}^7 &= \sum_{i=1}^{34} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (6d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i. \tag{3.18}
 \end{aligned}$$

Підставляєм (3.18) в (3.17) отримаємо залежність для визначення геометричного моменту інерції перетину поліетиленової нитки та проводимо спрощення, отримаємо:

$$\begin{aligned}
 I_{pE} &= I_{pE}^1 + I_{pE}^2 + I_{pE}^3 + I_{pE}^4 + I_{pE}^5 + I_{pE}^6 + I_{pE}^7 = \\
 &= \sum_{i=1}^{420} \left( \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} \right)_i + \sum_{i=1}^{69} [(d_{FpE})^2 S_{FpE}]_i + \\
 &+ \sum_{i=1}^{67} [(2d_{FpE})^2 S_{FpE}]_i + \sum_{i=1}^{65} [(3d_{FpE})^2 S_{FpE}]_i + \\
 &+ \sum_{i=1}^{58} [(4d_{FpE})^2 S_{FpE}]_i + \sum_{i=1}^{56} [(5d_{FpE})^2 S_{FpE}]_i + \\
 &+ \sum_{i=1}^{34} [(6d_{FpE})^2 S_{FpE}]_i. \tag{3.19}
 \end{aligned}$$

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.1.

Перейдемо до визначення геометричного моменту інерції пара-арамідної нитки для другого варіанту (рис.3.10 б), коли деформований перетин нитки має форму наближену до кола. Розрахункова залежність буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 I_{pA} = & \sum_{i=1}^{18} \left( \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} \right)_i + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \\
 & + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (2d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (3d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \\
 & + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (4d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (5d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \\
 & + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (6d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (7d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i + \\
 & + 2 \sum_{i=1}^{17} \left[ \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} + (8d_{FpA})^2 S_{FpA} \right]_i
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

В залежності (3.20) для спрощення розрахунків кількість філаментів в шарах, крім центрального, приймалася однаковою, загальна кількість філаментів для пара-арамідної нитки залишалася постійною - 294.

Для третього варіанту (рис.3.9 в) формула для визначення геометричного моменту інерції пара-арамідної нитки має вигляд:

$$I_{pA} = \sum_{i=1}^{294} \left( \frac{\pi d_{FpA}^4}{64} \right)_i. \tag{3.21}$$

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.1. На рис.3.13, побудована залежність геометричного моменту інерції пара-арамідної нитки, з урахуванням (3.16), (3.20), (3.21), від кількості шарів, в яких розташовуються філаменти при деформації перетину в зоні контакту.

Перейдемо до визначення геометричного моменту інерції поліетиленової нитки для другого варіанту (рис.3.10 б). Розрахункова залежність буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
I_{pE} = & \sum_{i=1}^{21} \left( \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} \right)_i + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + \\
& + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (2d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (3d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + \\
& + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (4d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (5d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + \\
& + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (6d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (7d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + \\
& + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (8d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (9d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i + \\
& + 2 \sum_{i=1}^{20} \left[ \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} + (10d_{FpE})^2 S_{FpE} \right]_i. \tag{3.22}
\end{aligned}$$

В залежності (3.22) для спрощення розрахунків кількість філаментів в шарах, крім центрального, приймалася однаковою, загальна кількість філаментів для поліетиленової нитки залишалася постійною - 420.

Для третього варіанту (рис.3.9 в) формула для визначення геометричного моменту інерції пара-арамідної нитки має вигляд:

$$I_{pE} = \sum_{i=1}^{420} \left( \frac{\pi d_{FpE}^4}{64} \right)_i. \tag{3.23}$$

Результати розрахунку представлені в таблиці 3.1. На рис.3.13, побудована залежність геометричного моменту інерції поліетиленової нитки, з урахуванням (3.19), (3.22), (3.23), від кількості шарів, в яких розташовуються філаменти при деформації перетину в зоні контакту.

Використання графічних залежностей (рис.3.13) для пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток повинно спиратися на результати експериментальних досліджень впливу натягу нитки на величину деформації перетину в зоні контакту.



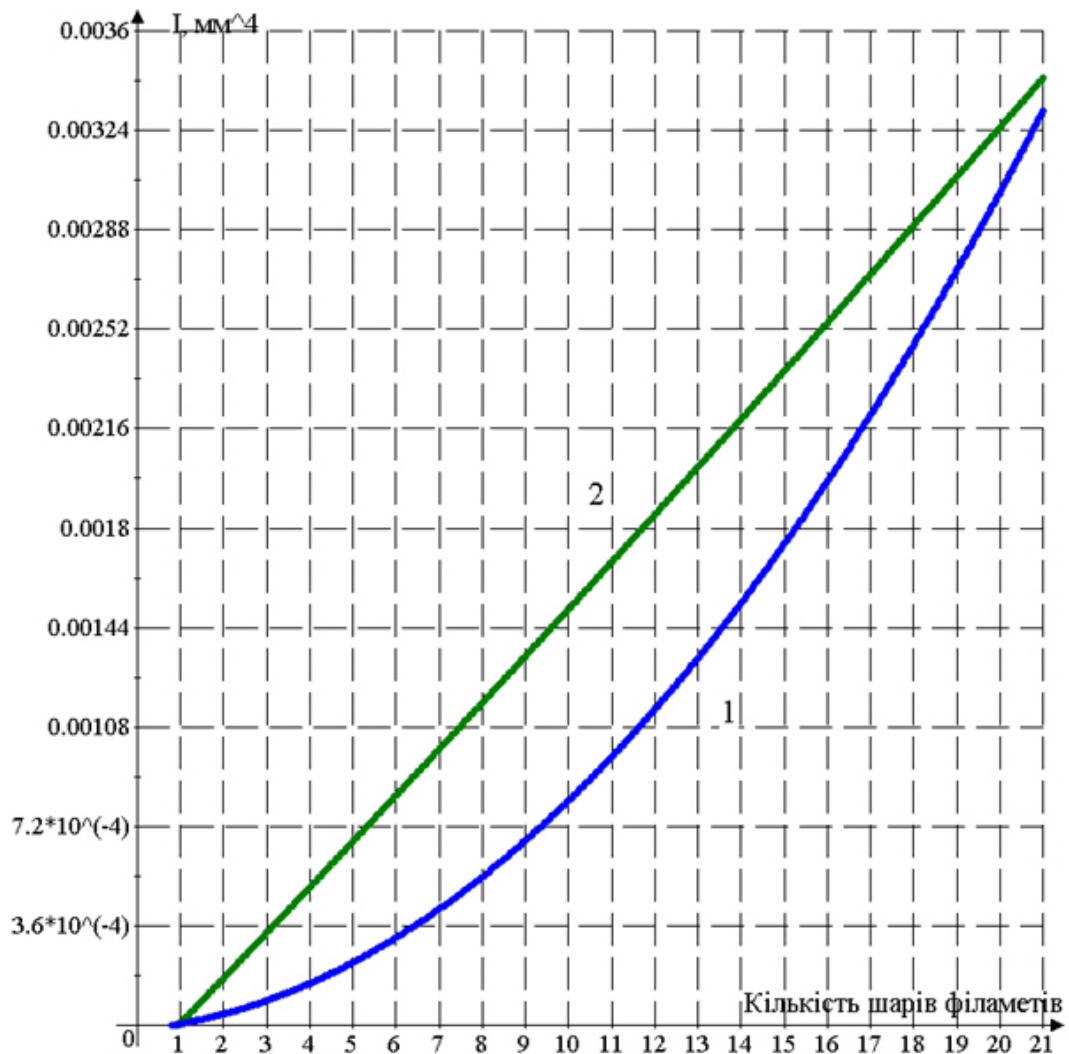


Рис.3.13 Графічні залежності геометричного моменту інерції:  
1- поліетиленова нитка; 2 – пара-арамідна нитка

Так, для випадку взаємодії пара-арамідної нитки з напрямною в момент формування петлі, момент на згин буде визначатися за формулою:

$$M = P_{pA}R = \frac{E_{pA}I_{pA}}{R}, \quad (3.24)$$

де  $P_{pA}$  - натяг пара-арамідної нитки;

$E_{pA}$  - модуль жорсткості на розтяг пара-арамідної нитки;

$R$  - радіус направляючої поверхні (голки, платини – 0,3-0,35мм).

З залежності (3.24) визначимо натяг пара-арамідної нитки:

$$P_{pA} = \frac{E_{pA}I_{pA}}{R^2}. \quad (3.25)$$

Розраховуючи за формулою (3.25) натяг, отримаємо: для першого варіанту натяг становитиме 14,9 сН; для другого варіанта 78,6 сН; для третього варіанта 0.2 сН. На рис.3.14 представлений фрагмент взаємодії поліетиленової нитки з поверхнею платин. Можна бачити, що форма перетину наближається до третього варіанту. У кожному конкретному випадку необхідно експериментально оцінювати форму перетину з використанням даних на рис.3.13.

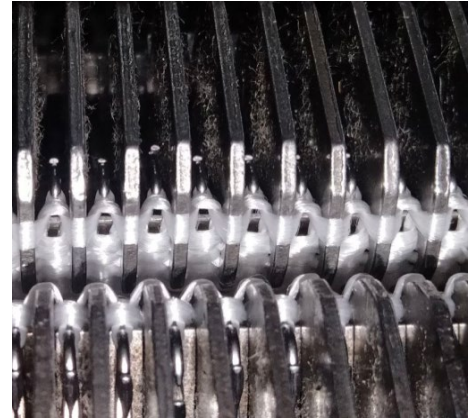


Рис.3.14 Фрагмент взаємодії поліетиленової нитки з поверхнею платин

Таблиця 3.1.

Результати розрахунків геометричних та інерційних характеристик для пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток

№ з/п	Показники	Пара-арамідна нитка	Поліетиленова нитка
1	Модуль жорсткості на розтяг, сН/мм <sup>2</sup>	$3.2 \cdot 10^3$	$3.8 \cdot 10^3$
2	Середній діаметр, мм	0.436	0.473
3	Площа перетину, мм <sup>2</sup>	0.149	0.176
4	Кількість філаментів	294	420
5	Площа перетину філамента, мм <sup>2</sup>	$5.1 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-4}$
6	Діаметр філамента, мм	0.025	0.023
7	Висота сегменту деформованого перетину, мм	0.18	0.16
8	Кількість шарів в сегменті деформованого перетину	$7.2 \approx 7$	$6.9 \approx 7$
9	Центральний кут сегменту деформованого перетину, рад.	1.147	0.772
10	Радіус сегменту деформованого перетину, мм	1.125	2.175
11	Довжина лінії контакту бази сегменту деформованого перетину, мм	1.23	1.63

12	Ордината центра мас сегменту деформованого перетину, мм	0.07	0.03
13	Геометричний момент інерції перетину філамента, мм <sup>4</sup>	$1.92 \cdot 10^{-8}$	$1.37 \cdot 10^{-8}$
14	Геометричний момент інерції сегмента, мм <sup>4</sup>	$4.21 \cdot 10^{-4}$	$4.20 \cdot 10^{-4}$
15	Геометричний момент інерції перетину у вигляді кола, мм <sup>4</sup>	$2.21 \cdot 10^{-3}$	$3.43 \cdot 10^{-3}$
16	Геометричний момент інерції перетину у вигляді одного шару, мм <sup>4</sup>	$5.64 \cdot 10^{-6}$	$8.05 \cdot 10^{-6}$

### 3.2.2 Визначення натягу при взаємодії пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток з робочими органами плосков'язальної машини

Отримані залежності (3.16), (3.19), (3.20), (3.21), (3.22), (3.23) геометричних моментів інерції для пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток дозволяють визначити модулі жорсткості на згин даних ниток. Як було встановлено раніше, нами будуть використовуватися перший та третій варіанти форми перетину ниток при їх взаємодії з напрямними поверхнями. Модуль жорсткості на згин для пара-арамідної нитки дорівнює:

$$B_{pA} = E_{pA} I_{pA}, \quad (3.26)$$

де  $E_{pA}$  - модуль жорсткості на розтяг пара-арамідної нитки.

Модуль жорсткості на згин для пара-арамідної нитки дорівнює:

$$B_{pE} = E_{pE} I_{pE}, \quad (3.27)$$

де  $E_{pE}$  - модуль жорсткості на розтяг поліетиленової нитки.

Перейдемо до визначення натягу нитки при формуванні нової петлі. Необхідно відзначити, що при русі нитководія вправо максимальний натяг буде мати ліва гілка петлі, а при русі вліво максимальний натяг буде мати права гілка

петлі. Це пояснює нахил петель в трикотажному полотні при в'язанні на плосков'язальних машинах.

Перейдемо до визначення системи та рівнянь для натягу при взаємодії пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток з поверхнею в'язальної голки. Загальна система диференціальних рівнянь в проєкціях на дотичну та нормаль натурального трикутника має вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{dP}{ds} - \frac{Q}{\rho_H} + F_\tau &= 0, \\ \frac{dQ}{ds} + \frac{P}{\rho_H} + F_n &= 0, \\ \frac{dM}{ds} + Q &= 0, M = \frac{B}{\rho_H},\end{aligned}\quad (3.28)$$

де  $P$  - натяг пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток;

$s$  - дугова координата;

$Q$  - поперечна сила в перетині нитки;

$F_\tau, F_n$  - проєкції зовнішніх сил на дотичну та нормаль, які діють на елементарну ділянку нитки;

$\rho_H$  - радіус кривизни осі нитки;

$M$  - момент що вигинає перетин нитки;

$B$  - модуль жорсткості на згин комплексної нитки.

Для ділянок до напрямної поверхні голки та після неї система диференціальних рівнянь (3.28) прийме вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{dP}{ds} - \frac{Q}{\rho_H} &= 0, \\ \frac{dQ}{ds} + \frac{P}{\rho_H} &= 0, \\ \frac{dM}{ds} + Q &= 0, M = \frac{B}{\rho_H},\end{aligned}\quad (3.29)$$

Інтегруючи систему диференціальних рівнянь (3.29) отримаємо наступне рівняння:

$$P = C - \frac{B}{2(\rho_H)^2}, \quad (3.30)$$

де  $C$  - довільна постійна інтегрування.

Постійне інтегрування знайдемо з наступної системи:

$$\begin{aligned} 1 \rho_H &= \infty, P = P_0, \\ 2 \rho_H &= R + r, P = P_A, \\ 3 \rho_H &= R + r, P = P_B, \\ 4 \rho_H &= \infty, P = P_1, \end{aligned} \quad (3.31)$$

де  $P_0$  - натяг пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток до поверхні голки;

$R$  - радіус перетину голки;

$r$  - половина перетину нитки;

$P_A$  - натяг пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток в точці входу на напрямну;

$P_B$  - натяг пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток в точці сходу з напрямної;

$P_1$  - натяг пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток після поверхні голки.

Підставляємо з (3.31) значення натягу та радіусу кривизни в (3.30) отримаємо:

$$P_A = P_0 - \frac{B}{2(R+r)^2}, P_B = P_1 - \frac{B}{2(R+r)^2}. \quad (3.32)$$

Зв'язок між натягом на кінцях структури петлі та в точках входу на поверхню в'язальної голки знайдемо з використанням кутів жорсткості (кутів, на які зменшується реальний кут охоплення):

$$\begin{aligned} P_A &= P_0 \cos \gamma_0, P_B = P_1 \cos \gamma_1 \\ \cos \gamma_0 &= 1 - \frac{B}{2P_0(R+r)^2}, \cos \gamma_1 = 1 - \frac{B}{2P_1(R+r)^2}, \end{aligned} \quad (3.33)$$

де  $\gamma_0, \gamma_1$  - кути жорсткості.

З урахуванням (3.33) фактичний кут охоплення пара-арамідними та поліетиленовими комплексними нитками поверхні в'язальної голки буде рівним:

$$\varphi = \varphi_P - \arccos\left[1 - \frac{B}{2P_0(R+r)^2}\right] - \arccos\left[1 - \frac{B}{2P_1(R+r)^2}\right], \quad (3.34)$$

де  $\varphi_p$  - розрахункове значення кута охоплення ниткою напрямної.

Визначимо, як змінюється натяг на ділянці контакту пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток з поверхнею в'язальної голки. Враховуючи, що радіус поверхні голки приймаємо постійною величиною ( $R = \text{const}$ ) можемо рахувати  $Q = 0$ . Тоді система рівнянь (3.28), з урахуванням сил тертя, прийме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{ds} - \mu N &= 0, \\ \frac{P}{R} - N &= 0, \end{aligned} \quad (3.35)$$

де  $N$  - питомий нормальний тиск між ниткою та напрямною;  
 $\mu$  - коефіцієнт тертя.

Розділяємо змінні в системі диференціальних рівнянь (3.35) отримаємо після інтегрування:

$$P_B = P_A e^{\mu\varphi}. \quad (3.36)$$

Розв'язок (3.26), (3.27), (3.32) – (3.36) отримаємо систему двох трансцендентних рівнянь відносно натягу  $P_1$ :

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 e^{\mu\varphi} + \frac{B}{2(R+r)} (1 - e^{\mu\varphi}), \\ \varphi &= \varphi_p - \arccos\left[1 - \frac{B}{2P_0(R+r)^2}\right] - \arccos\left[1 - \frac{B}{2P_1(R+r)^2}\right]. \end{aligned} \quad (3.37)$$

Для розв'язання системи рівнянь (3.37) використовували чисельні методи. У роботі був реалізований модифікований метод Ньютона. Для розрахунків були прийняті наступні дані: коефіцієнт тертя для пара-арамідних комплексних ниток – 0,28, для поліетиленових комплексних ниток – 0,15; натяг пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток до голки – 10 сН; діаметр голки машини без платин (типу ПВРК) – 0,6 мм, діаметр голки машини з платинами (типу РА ПА-8-33) – 0,7 мм; розрахункове значення кута охоплення ниткою напрямної приймалося близьким до  $\pi$ . Результати розрахунків представлені в таблиці 3.2. Для дослідження форми петлі нами будуть використовуватися середні значення натягу.

Результати розрахунків натягу для пара-арамідних та поліетиленових  
комплексних ниток

Форма перетину	ПВРК		ПА-8-33 (РА)	
	Пара-арамідна нитка	Поліетиленова нитка	Пара-арамідна нитка	Поліетиленова нитка
Сегмент	12,17	10,67	13,17	11,14
Лінія	22,09	15,11	22,37	15,24
Середнє значення	17,11	12,89	17,78	13,19

**3.2.3 Вплив умов виробництва трикотажного матеріалу з пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток на плосков'язальному обладнанні різних типів (з платинами та без) на форму петлі**

На попередньому етапі визначимо значення сил тертя, які виникають в зоні контакту між елементами петлі. Для розрахунків будемо використовувати методику професора Далідовича О. С. [9]. У зоні контакту сила тертя визначається за формулою:

$$F_T = \frac{\pi d^3 K}{32l} \mu, \quad (3.38)$$

де  $d$  - середній діаметр перетину нитки;

$K$  - коефіцієнт жорсткості нитки на вигин (зазвичай приймається  $\approx E/3$ );

$\mu$  - коефіцієнт тертя між елементами петлі;

$l$  - довжина напівостова петлі.

Результати розрахунку сили тертя для пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток при переробці на плоскофанговій машині без платин (типу ПВРК) та з платинами (типу РА ПА-8-33) представлені у таблиці 3.3.

Результати розрахунку сили тертя для пара-арамідних та поліетиленових  
комплексних ниток

	ПВРК		ПА-8-33 (РА)	
	Пара-арамідна нитка	Поліетиленова нитка	Пара-арамідна нитка	Поліетиленова нитка
Сила тертя, сН	0,63	0,95	0,56	0,86

На рис.3.15 представлена схема навантаження до полотна на машинах без платин (типу ПВРК) (рис.3.15 а) та з платинами (типу РА ПА-8-33) (рис.3.15 б). На машині без платин (типу ПВРК) відтягування полотна здійснюється за рахунок гребінки з тягарцями сумарною вагою – 3,498 кг. Сила відтягування полотна буде дорівнювати  $P_T=3432$  сН. Кількість голок в заправці 100. Тоді на кожну гілку петлі додатково буде діяти сила 17,16 сН. На машині з платинами (типу РА ПА-8-33) сила відтягування полотна відсутня, тому  $P_T=0$ .

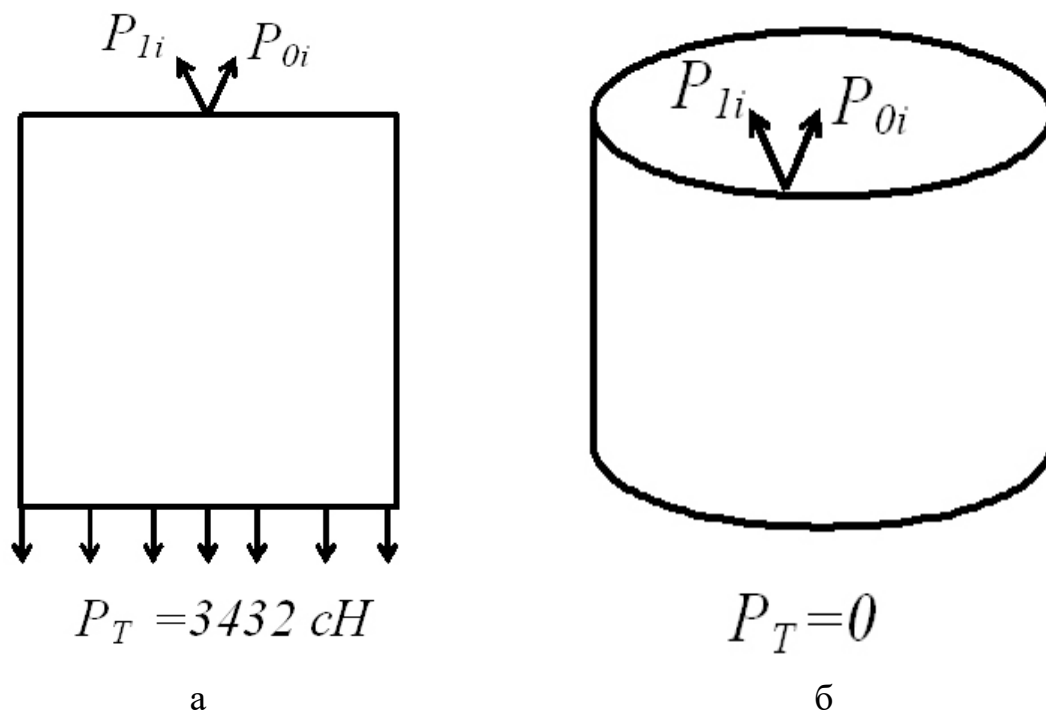


Рис.3.15 Схема навантаження полотна на машинах ПВРК та ПА-8-33 (РА)

Вектори  $P_{li}$  та  $P_{oi}$  показують натяг гілок  $i$  – петлі після та до голки. Зв'язок між ними визначається за допомогою (3.37). Умова рівноваги полотна для машини без платин (типу ПВРК) може бути представлена у вигляді:



$$\sum_{i=1}^n F_{xi} = \sum_{i=1}^n P_{1xi} - \sum_{i=1}^n P_{0xi} = 0,$$

$$\sum_{i=1}^n F_{yi} = \sum_{i=1}^n P_{1yi} + \sum_{i=1}^n P_{0yi} - P_T = 0, \quad (3.39)$$

де  $F_{yi}$  - проєкція  $i$  – сили на вертикальну вісь;

$P_{1xi}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки після голки на горизонтальну вісь;

$P_{0xi}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки до голки на горизонтальну вісь;

$P_{1yi}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки після голки на вертикальну вісь;

$P_{0yi}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки до голки на вертикальну вісь;

$n$  - кількість гілок для машини ПВРК.

Умова рівноваги трикутного полотна для машини з платинами (типу РА ПА-8-33) може бути представлена у вигляді:

$$\sum_{j=1}^{n1} F_{xj} = \sum_{j=1}^{n1} P_{1xj} - \sum_{j=1}^{n1} P_{0xj} = 0,$$

$$\sum_{j=1}^{n1} F_{yj} = \sum_{j=1}^{n1} P_{1yj} + \sum_{j=1}^{n1} P_{0yj} = 0, \quad (3.40)$$

де  $P_{1xj}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки після голки на горизонтальну вісь;

$P_{0xj}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки до голки на горизонтальну вісь;

$P_{1yj}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки після голки на вертикальну вісь;

$P_{0yj}$  - проєкція натягу  $i$  – гілки нитки до голки на вертикальну вісь;

$n1$  - кількість гілок для машини ПА-8-33.

Друге рівняння системи (3.40) не може існувати. Сума двох позитивних величин не може дорівнювати нулю. Тому для машини з платинами (типу РА ПА-8-33) буде мати місце тільки перше рівняння системи (3.40). Петля буде займати рівноважну форму, коли її ділянки будуть розташовані (приблизно) перпендикулярно одна до одної. У випадку машини без платин (типу ПВРК), при

наявності відтягування полотна гребінкою з тягарцями, форма петлі буде мати класичний вигляд. На рис.3.16 а, представлено форма петлі для машини без платин (типу ПВРК) із зазначенням проєкцій сил натягу, а на рис.3.16 б, представлена форма петлі для машини з платинами (типу РА ПА-8-33).

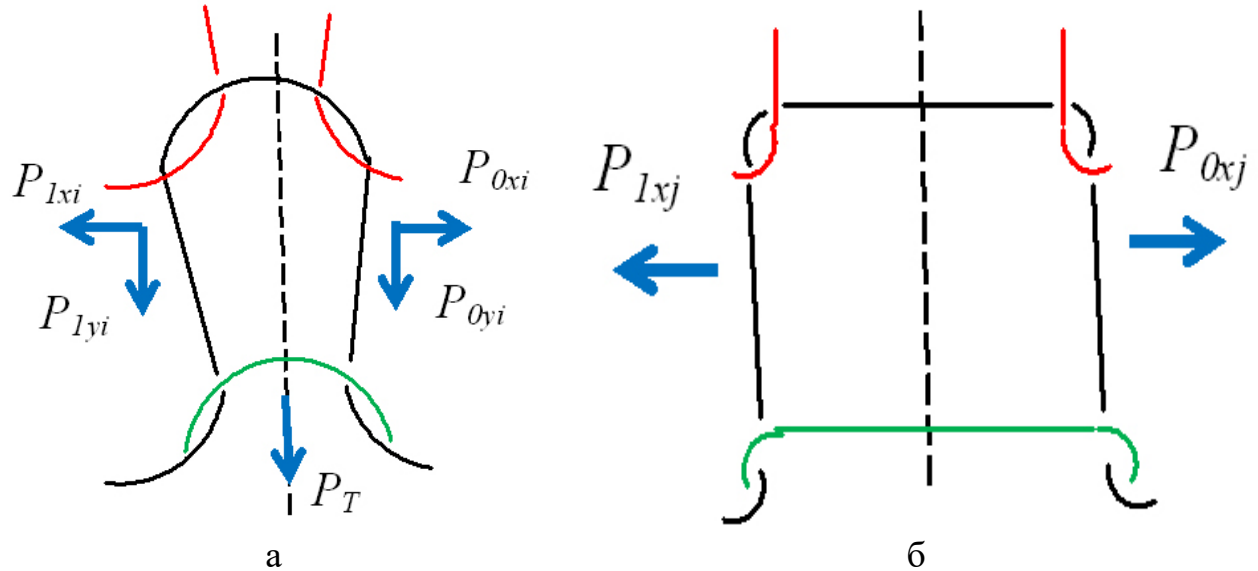


Рис.3.16 Форма петлі: а) без платин (ПВРК), б) з платинами (ПА-8-33)

Саме різний характер розподілу сил натягу у процесі петлетворення на двох різних типах плосков'язального обладнання (з платинами та без) обумовлює різну геометрію нитки в петлі за умови використання однакового виду високоміцних ниток. Враховуючи дані таблиць 3.1-3.3 та жорсткості на вигин пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток необхідно в точках контакту давати поправку на визначення радіуса кривизни.

### 3.3 Встановлення впливу технологічних факторів одержання трикотажного матеріалу з високоміцних ниток на форму петель

Вивчення характеру зміни форми петель під впливом технологічних параметрів у процесі в'язання, а саме типу плосков'язального обладнання з платинами чи без, виду високоміцних ниток, щільності в'язання дозволяє в подальшому вирішити питання одержання параметричних 3D моделей петлі трикотажу, які відповідають реальним об'єктам. Такі 3D моделі структури трикотажу можуть бути використані в системах імітаційного моделювання, які

для визначення механічних характеристик текстильного матеріалу не потребують наявності технологічного обладнання та витрат сировинних ресурсів для реалізації попереднього етапу виготовлення дослідних зразків, відповідно до обраних технологічних параметрів. Створення 3D моделей трикотажних матеріалів ускладнюється нестабільністю й нерівномірністю структури, обумовленої фізико-механічними характеристиками ниток, зігнутих в петлі. Встановлення математичних залежностей, що описують вплив щільності в'язання на характеристики форми петель залежно від обраного типу плосков'язального обладнання (з платинами чи без) та виду високоміцних ниток дозволи на етапі проектування трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток прогнозувати параметри форми петель.

Таким чином, дані, що характеризують геометрію високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток в структурі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні з платинами або без, дозволяють перейти до етапу 3D моделювання його структури й проведення віртуальних експериментів з визначення його фізико-механічних властивостей у сучасних САПР, а також подальшого створення трикотажних матеріалів для забезпечення захисту від механічних ушкоджень з прогнозуванням споживними характеристиками.

Визначення характеристик форми петель в структурі одержаних дослідних зразків трикотажних матеріалів, умови вироблення яких описано у розділі 2, виконано з використанням цифрового мікроскопа USB Digital microscope MM-2288-5X-BH та спеціалізованого програмного забезпечення SHINY VISION (рис.3.17) для роботи з одержаними у результаті макрозйомки фотозображеннями.



Рис.3.17 Цифровий мікроскоп USB Digital microscope MM-2288-5X-BH та спеціалізоване програмне забезпечення SHINY VISION

У ході досліджень встановлено наступні лінійні розміри форми петель: ширина, висота та площа петлі; кут нахилу палички основа петлі; кут нахилу дотичної у точці переплетення; довжина палички; ширина між паличками петлі; відстань між паличками суміжних петель в області платинної дуги (рис.3.18). При цьому для кожної із зазначених характеристик форми петлі виконувалося по 10 повторних вимірів [1].

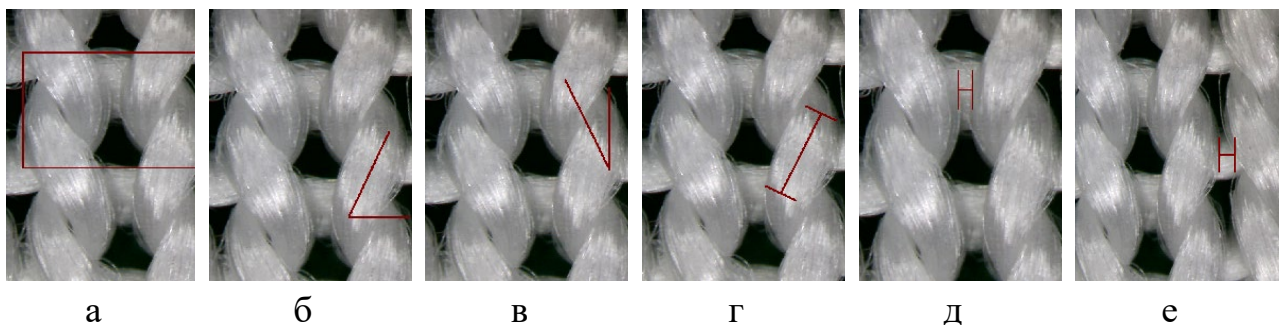


Рис. 3.18 Геометричні виміри форми петлі: а) ширина, висота, площа петлі; б) кут нахилу палички основа петлі; в) кут нахилу дотичної у точці переплетення; г) довжина палички; д) ширина між паличками петлі; е) відстань між паличками суміжних петель в області платинної дуги

У таблицях 3.4 та 3.5 наведені одержані середні значення параметрів форми петлі в структурі досліджуваних трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) та з використанням двох видів високоміцних ниток (високомолекулярний

поліетилен та пара-арамід) при п'яти рівнях щільності в'язання, із зазначенням верхньої та нижньої межі довірчого інтервалу, у межах якого з довірчою імовірністю 95% можна чекати значення.

Для реалізації задач досліджень, як зазначалося у розділі 2, використано метод регресійного аналізу та одержання однофакторних математичних моделей [10]. У якості вхідного параметра активного експерименту обрано глибину кулірування, яка змінювалася на п'яти рівнях у заданому діапазоні зміни щільності в'язання. Шляхом обробки експериментальних даних встановлено відповідні регресійні залежності для наступних параметрів форми петлі трикотажного матеріалу: ширина, висота, площа петлі; кут нахилу палички остова петлі; кут нахилу дотичної у точці переплетення; довжина палички; відстань між паличками в області голкової дуги, відстань між паличками в області платинної дуги, (табл. 3.6).

На підставі одержаних регресійних математичних моделей, зазначених у таблиці 3.6, побудовано відповідні графіки залежності досліджуваних параметрів форми петлі (рис.3.19 та рис.3.26), які наглядно ілюструють вплив щільності в'язання, а саме зміни глибини кулірування у заданому діапазоні, на зазначені на характеристики форми петлі кулірного трикотажу, виробленого на двох типах плосков'язального обладнання з двох обраних видів високоміцних ниток.

Таблиця 3.4

Параметри форми петлі дослідних зразків трикотажних матеріалів з обладнання без платин (типу ПВРК)

№ зразка	Величина глибини кулірування h, мм		Середні значення параметрів форми петлі									
			Ширина петлі, мм		Висота петлі, мм		Площа петлі, мм		Відстань між паличками голкової дуги, мм		Відстань між паличками платинної дуги, мм	
	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA	pE	pA
1	3,20	3,09	2,137 ±0,02	1,978 ±0,02	1,714 ±0,03	1,565 ±0,02	3,692 ±0,10	3,137 ±0,05	—	0,156 ±0,02	—	0,419 ±0,02
2	3,29	3,18	2,189 ±0,02	2,002 ±0,01	1,802 ±0,02	1,596 ±0,01	4,052 ±0,07	3,212 ±0,04	—	0,140 ±0,01	—	0,427 ±0,02
3	3,38	3,27	2,235 ±0,01	2,040 ±0,01	1,868 ±0,02	1,646 ±0,01	4,224 ±0,06	3,367 ±0,03	—	0,131 ±0,01	—	0,446 ±0,01
4	3,47	3,36	2,262 ±0,02	2,069 ±0,01	1,895 ±0,02	1,688 ±0,01	4,366 ±0,07	3,478 ±0,04	—	0,123 ±0,01	—	0,468 ±0,02
5	3,56	3,45	2,304 ±0,02	2,103 ±0,02	1,991 ±0,03	1,720 ±0,02	4,417 ±0,10	3,607 ±0,05	—	0,111 ±0,02	—	0,488 ±0,02

Закінчення таблиці

№ зразка	Середні значення параметрів форми петлі																	
	Кут нахилу дотичної у точці переплетення, мм						Кут нахилу палички остова петлі, мм						Довжина нитки у паличці остова петлі, мм					
	pE		pA				pE		pA				pE		pA			
	ліва	права	ліва з нахилом у		права з нахилом у		ліва	права	ліва з нахилом у		права з нахилом у		ліва	права	ліва з нахилом у		права з нахилом у	
		ліво	право	ліво	право	ліво	право	ліво	право	ліво	право	ліво	право	ліво	право	ліво	право	
1	29,050 ±0,74	29,257 ±0,85	28,160 ±0,76	28,751 ±0,86	29,451 ±0,77	29,757 ±0,82	63,960 ±0,97	65,437 ±1,22	57,424 ±0,74	94,413 ±1,34	91,108 ±1,05	57,400 ±0,72	1,060 ±0,03	1,065 ±0,02	1,833 ±0,03	0,891 ±0,04	0,862 ±0,05	1,834 ±0,03
2	28,638 ±0,53	28,620 ±0,60	27,872 ±0,54	27,509 ±0,61	28,928 ±0,54	29,039 ±0,58	64,293 ±0,69	66,630 ±0,86	57,111 ±0,53	93,416 ±0,95	90,167 ±0,74	57,238 ±0,51	1,077 ±0,02	1,083 ±0,01	1,884 ±0,02	0,917 ±0,03	0,959 ±0,03	1,847 ±0,02
3	28,340 ±0,43	28,078 ±0,49	27,051 ±0,44	26,847 ±0,50	28,316 ±0,44	28,842 ±0,47	65,008 ±0,56	67,061 ±0,70	56,598 ±0,43	92,725 ±0,77	88,882 ±0,61	56,971 ±0,41	1,116 ±0,02	1,108 ±0,01	1,944 ±0,02	0,939 ±0,02	0,991 ±0,03	1,863 ±0,02
4	28,084 ±0,53	27,896 ±0,60	26,401 ±0,54	25,930 ±0,61	27,038 ±0,54	28,324 ±0,58	65,524 ±0,69	67,712 ±0,86	56,259 ±0,53	92,160 ±0,95	89,983 ±0,74	56,472 ±0,51	1,132 ±0,02	1,129 ±0,01	1,989 ±0,02	0,969 ±0,03	1,065 ±0,03	1,878 ±0,02
5	27,960 ±0,74	27,125 ±0,85	25,247 ±0,76	25,335 ±0,86	26,346 ±0,77	28,010 ±0,82	65,860 ±0,97	68,091 ±1,22	55,225 ±0,74	91,730 ±1,34	87,482 ±1,05	55,897 ±0,72	1,156 ±0,03	1,144 ±0,02	2,028 ±0,03	1,008 ±0,04	1,144 ±0,05	1,905 ±0,03

Таблиця 3.5

Параметри форми петлі дослідних зразків трикотажних матеріалів з обладнання з платинами (типу РА)

№ зразка	Величина глибини кулірування $h$ , мм		Середні значення параметрів форми петлі															
			ширина петлі, мм		висота петлі, мм		площа петлі, мм		відстань між паличками				кут нахилу				довжина палички, мм	
	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	голкової дуги, мм		платинної дуги, мм		дотичної у точці переплетення, мм		палички остова петлі, мм			
	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$
1	3,55	3,40	2,864 $\pm 0,02$	2,517 $\pm 0,02$	1,267 $\pm 0,03$	1,582 $\pm 0,02$	3,702 $\pm 0,06$	3,881 $\pm 0,06$	0,384 $\pm 0,02$	0,613 $\pm 0,02$	0,311 $\pm 0,02$	0,285 $\pm 0,01$	23,597 $\pm 0,53$	16,685 $\pm 0,39$	54,769 $\pm 0,62$	68,077 $\pm 0,60$	1,199 $\pm 0,02$	1,398 $\pm 0,02$
2	3,65	3,50	2,866 $\pm 0,01$	2,538 $\pm 0,02$	1,337 $\pm 0,02$	1,633 $\pm 0,01$	3,891 $\pm 0,05$	4,081 $\pm 0,04$	0,357 $\pm 0,01$	0,628 $\pm 0,01$	0,308 $\pm 0,01$	0,377 $\pm 0,01$	23,862 $\pm 0,37$	17,182 $\pm 0,27$	55,891 $\pm 0,43$	68,619 $\pm 0,43$	1,221 $\pm 0,01$	1,413 $\pm 0,01$
3	3,75	3,60	2,868 $\pm 0,01$	2,601 $\pm 0,01$	1,405 $\pm 0,02$	1,698 $\pm 0,01$	4,079 $\pm 0,04$	4,412 $\pm 0,04$	0,335 $\pm 0,01$	0,643 $\pm 0,01$	0,305 $\pm 0,01$	0,448 $\pm 0,01$	24,087 $\pm 0,31$	17,581 $\pm 0,22$	57,478 $\pm 0,36$	69,361 $\pm 0,35$	1,252 $\pm 0,01$	1,438 $\pm 0,01$
4	3,85	3,70	2,869 $\pm 0,01$	2,641 $\pm 0,02$	1,490 $\pm 0,02$	1,773 $\pm 0,01$	4,268 $\pm 0,05$	4,640 $\pm 0,04$	0,311 $\pm 0,01$	0,657 $\pm 0,01$	0,302 $\pm 0,01$	0,507 $\pm 0,01$	24,407 $\pm 0,37$	17,826 $\pm 0,27$	58,267 $\pm 0,43$	70,045 $\pm 0,43$	1,280 $\pm 0,01$	1,479 $\pm 0,01$
5	3,95	3,80	2,870 $\pm 0,02$	2,669 $\pm 0,02$	1,527 $\pm 0,03$	1,854 $\pm 0,02$	4,303 $\pm 0,06$	4,980 $\pm 0,06$	0,289 $\pm 0,02$	0,676 $\pm 0,02$	0,298 $\pm 0,02$	0,570 $\pm 0,01$	24,873 $\pm 0,53$	18,071 $\pm 0,39$	58,560 $\pm 0,62$	70,790 $\pm 0,60$	1,305 $\pm 0,02$	1,505 $\pm 0,02$

Таблиця 3.6

Регресійні залежності, що описують  
вплив щільності в'язання на характеристики форми петлі

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	поліетиленової нитки, $pE$	пара-арамідної нитки, $pA$
<b>тип плосков'язального обладнання: ПВРК</b>		
Ширина петлі, мм	$A = 0,71 + 0,45 \cdot h_k$	$A = 0,89 + 0,35 \cdot h_k$
Висота петлі, мм	$B = 0,72 \cdot h_k - 0,58$	$B = 0,17 + 0,45 \cdot h_k$
Площа петлі, мм	$S = 1,96 \cdot h_k - 2,47$	$S = 1,34 \cdot h_k - 1,02$
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - ліва паличка $u_{dl}$ з нахилом в ліво - ліва паличка $u_{dp}$ з нахилом в право - права паличка $u_{pl}$ з нахилом в ліво - права паличка $u_{pp}$ з нахилом в право	$L_{pl} = 0,20 + 0,27 \cdot h_k$  $L_{pp} = 0,33 + 0,23 \cdot h_k$	$L_{pl} = 0,14 + 0,55 \cdot h_k$ $L_{pp} = 0,32 \cdot h_k - 0,11$ $L_{pl} = 0,75 \cdot h_k - 1,45$ $L_{pp} = 1,25 + 0,19 \cdot h_k$
Відстань між паличками голкової дуги, мм	—	$W_g = 0,52 - 0,12 \cdot h_k$
Відстань між паличками платинної дуги, мм	—	$W_g = 0,2 \cdot h_k - 0,19$
Кут нахилу дотичної у точці переплетення $u_d, ^\circ$ Ліва паличка $u_{dl}$ з нахилом в ліво Ліва паличка $u_{dp}$ з нахилом в право Права паличка $u_{pl}$ з нахилом в ліво Права паличка $u_{pp}$ з нахилом в право	$u_{dl} = 38,69 - 3,04 \cdot h_k$  $u_{dp} = 46,93 - 5,54 \cdot h_k$	$u_{dl} = 53,47 - 8,11 \cdot h_k$ $u_{dp} = 57,41 - 9,34 \cdot h_k$ $u_{pl} = 57,45 - 9,00 \cdot h_k$ $u_{pp} = 44,09 - 4,68 \cdot h_k$
Кут нахилу палички остова петлі $u_o, ^\circ$ - ліва паличка $u_{ol}$ з нахилом в ліво - ліва паличка $u_{op}$ з нахилом в право - права паличка $u_{pl}$ з нахилом в ліво - права паличка $u_{pp}$ з нахилом в право	$u_{ol} = 46,04 + 5,59 \cdot h_k$  $u_{op} = 42,99 + 7,10 \cdot h_k$	$u_{ol} = 75,58 - 5,83 \cdot h_k$ $u_{op} = 116,96 - 7,36 \cdot h_k$ $u_{pl} = 123,39 - 10,48 \cdot h_k$ $u_{pp} = 70,50 - 4,19 \cdot h_k$
<b>тип плосков'язального обладнання: РА</b>		
Ширина петлі, мм	$A = 2,80 + 0,02 \cdot h_k$	$A = 1,11 + 0,41 \cdot h_k$
Висота петлі, мм	$B = 0,67 \cdot h_k - 1,10$	$B = 0,68 \cdot h_k - 0,74$
Площа петлі, мм	$S = 1,58 \cdot h_k - 1,88$	$S = 2,76 \cdot h_k - 5,54$
Довжина палички, мм	$L_p = 0,238 + 0,27 \cdot h_k$	$L_p = 0,442 + 0,28 \cdot h_k$
Відстань між паличками голкової дуги, мм	$W_g = 1,24 - 0,24 \cdot h_k$	$W_g = 0,1 + 0,15 \cdot h_k$
Відстань між паличками платинної дуги, мм	$W_p = 0,41 - 0,03 \cdot h_k$	$W_p = 0,7 \cdot h_k - 2,08$
Кут нахилу дотичної у точці переплетення $u_d, ^\circ$	$u_d = 13,79 + 2,76 \cdot h_k$	$u_d = 5,16 + 3,42 \cdot h_k$
Кут нахилу палички остова петлі $u_o, ^\circ$	$u_o = 19,64 + 9,96 \cdot h_k$	$u_o = 45,63 + 6,59 \cdot h_k$



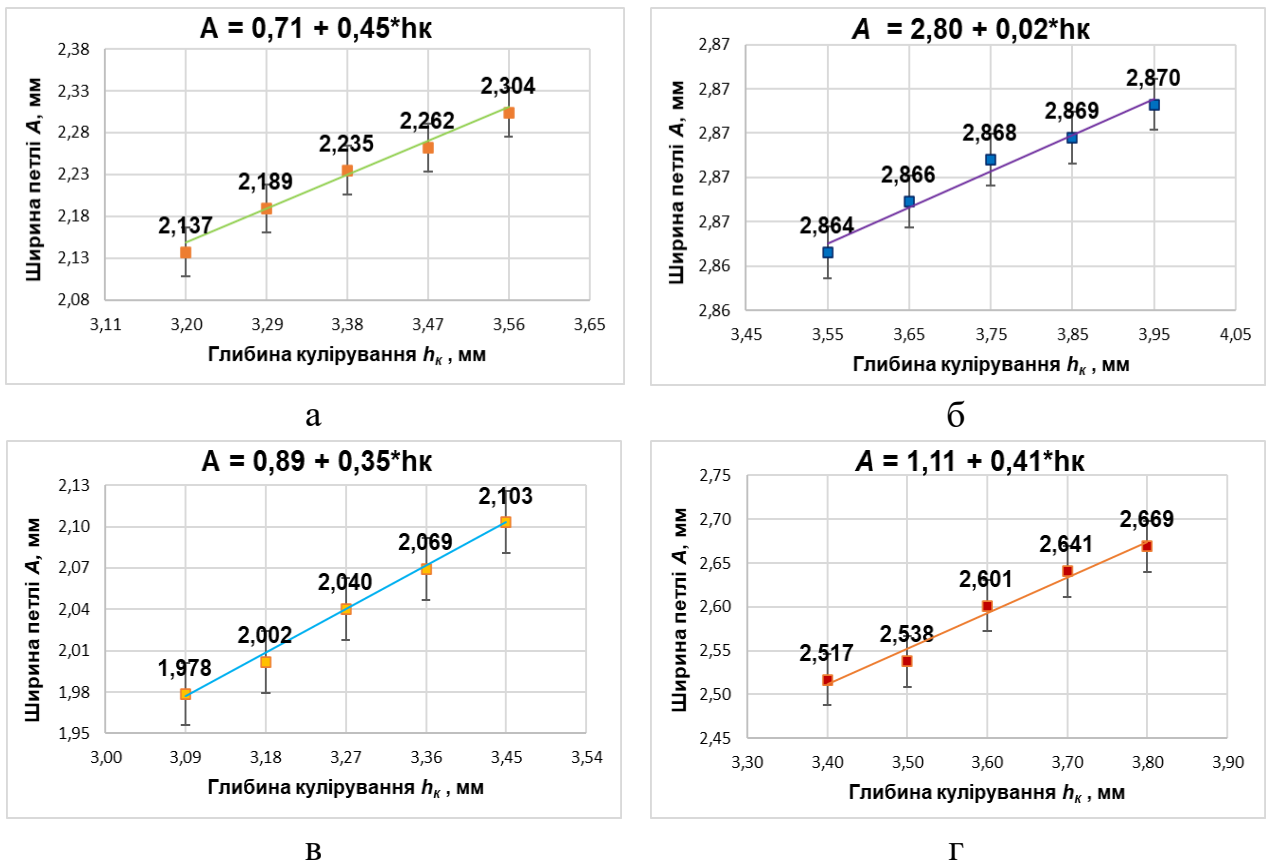


Рис. 3.19 Графіки залежності ширини петлі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні: без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

На ширину петлі дослідних зразків трикотажного матеріалу, виробленого з високоміцних ниток однакової лінійної густини впливає тип (з платинами або без) в'язального обладнання. На обладнанні без платин типу ПВРК (рис.3.18 а, в) із загальним зусиллям відтягування полотна ширина петлі зі збільшенням глибини кулірування зростає у разі використання *UHMWPE* нитки на 7,8%, у разі *pA* нитки - на 6,3%. Зокрема, у разі вироблення трикотажу на рукавичковому автоматі з платинами (рис.3.18 б, г) зростання глибини кулірування поліетиленових та пара-арамідних ниток призводить до несуттєвого збільшення ширини петлі на 0,2 % та 6,0 % відповідно. Така мала зміна ширини петлі обумовлена типом плосков'язального обладнання, а саме наявністю в процесі вироблення трикотажного матеріалу платин, які утримують своїми підборіддями сформовані петлі й своїми горловинами платинні дуги старих петель та не дають можливості для перерозподілу нитки.

За умови виготовлення дослідних зразків на кожному з типів плосков'язального обладнання при мінімальній глибині кулірування, зміна виду високоміцних ниток з високомолекулярного поліетилену на пара-арамід призводить до зменшення ширини петлі, а саме: на машині без платин типу ПВРК на 7,4% (рис.3.19 а, в), на РА - на 12,1% (рис.3.19 б, г).

При цьому в межах одного виду сировини за умови максимальної щільності в'язання (мінімальної глибини кулірування) зміна в'язального обладнання з машини без платин (типу ПВРК) на машину з платинами (типу РА) призводить до збільшення ширини петлі на 34 % для *UHMWPE* (рис.3.19 а, б), та 27,2% для *pA* (рис.3.19 в, г).

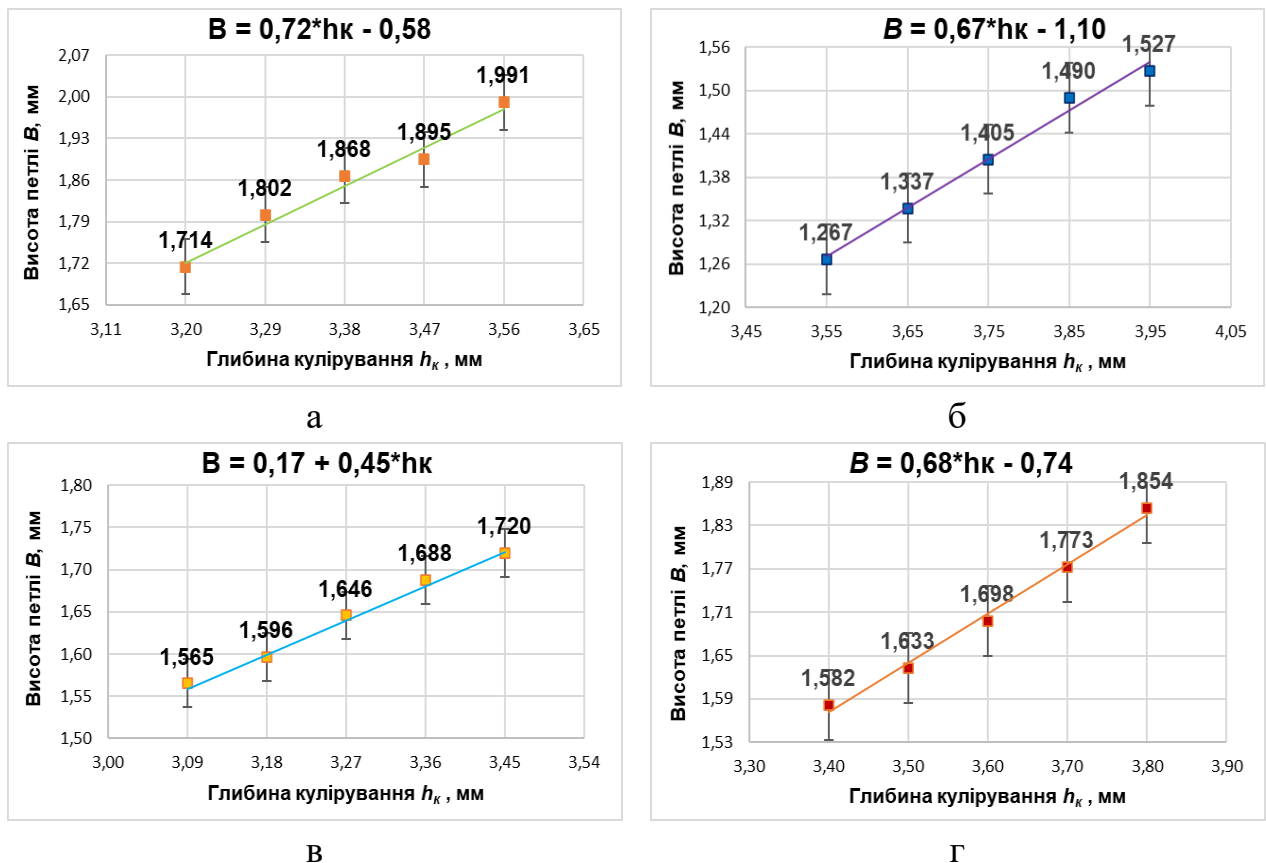


Рис. 3.20 Графіки залежності висоти петлі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні: без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Висота петлі трикотажного матеріалу напряму залежить від глибини кулірування. Тому її збільшення призводить до зростання величини висоти петлі, а саме: у разі використання обладнання без платин типу ПВРК на 16,2% з

*UHMWPE* та на 9,9% – з *pA* ниток. Аналогічний характер зміни спостерігається й у випадку виготовлення трикотажного матеріалу на обладнанні з платинами (типу *PA*), а саме: на 20,5% при використанні *UHMWPE* нитки та на 17,2% - у випадку *pA* ниток (рис.3.20).

Зміна виду високоміцних ниток з поліетилену на пара-арамід у межах одного типу обладнання та максимальної щільності в'язання трикотажного матеріалу призводить до зменшення висоти петлі, а саме: у випадку використання обладнання без платин типу ПВРК на 8,7% (рис. 3.20 а, в). Крім того, як вже зазначалося, внаслідок жорсткості на згин пара-арамідних ниток на даному типі обладнання зі зворотно-поступальним рухом каретки сформовані петлі в одному петельному стовпчику мають зигзагоподібну будову (рис.3.4 б) у напрямку руху каретки. Саме цей аспект призводить до зменшення висоти петлі. На плосков'язальному обладнанні з платинами (типу *PA*) зміна високоміцних ниток з поліетилену на пара-арамід призводить до збільшення висоти петлі на 24,9% (рис. 3.20 б, г).

Зміна плосков'язального обладнання з ПВРК на *PA* (рис.3.20 а, б) за умови максимальної щільності в'язання призводить до зменшення висоти петлі у разі використання високомолекулярних поліетиленових ниток на 26,1%. Це обумовлено більш щільною структурою трикотажного матеріалу, виробленого на машині без платин (типу ПВРК) та загальним зусиллям відтягування полотна (гребінка з тягарцями). У випадку використання пара-арамідних ниток, зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК на *PA* несуттєво впливає на висоту петлі несуттєво (зростає на 1,1%) (рис.3.20 в, г), що обумовлено зигзагоподібною будовою петель суміжних петельних рядів у петельному стовпчику.

Як видно з графіків, наведених на рис. 3.21, зі збільшенням глибини кулірування площа петлі, від якої залежить наскрізна пористість трикотажного матеріалу, а відповідно у подальшому і стійкість до механічних впливів (тертя, прокол), збільшується. Зокрема у разі використання поліетиленових ниток на 19,6% та пара-арамідних – на 15% відповідно для трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК)

(рис.3.21 а, в). У випадку вироблення на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА) (рис.3.21 б, г) збільшується на 16,2% та 28,3% відповідно для трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток.

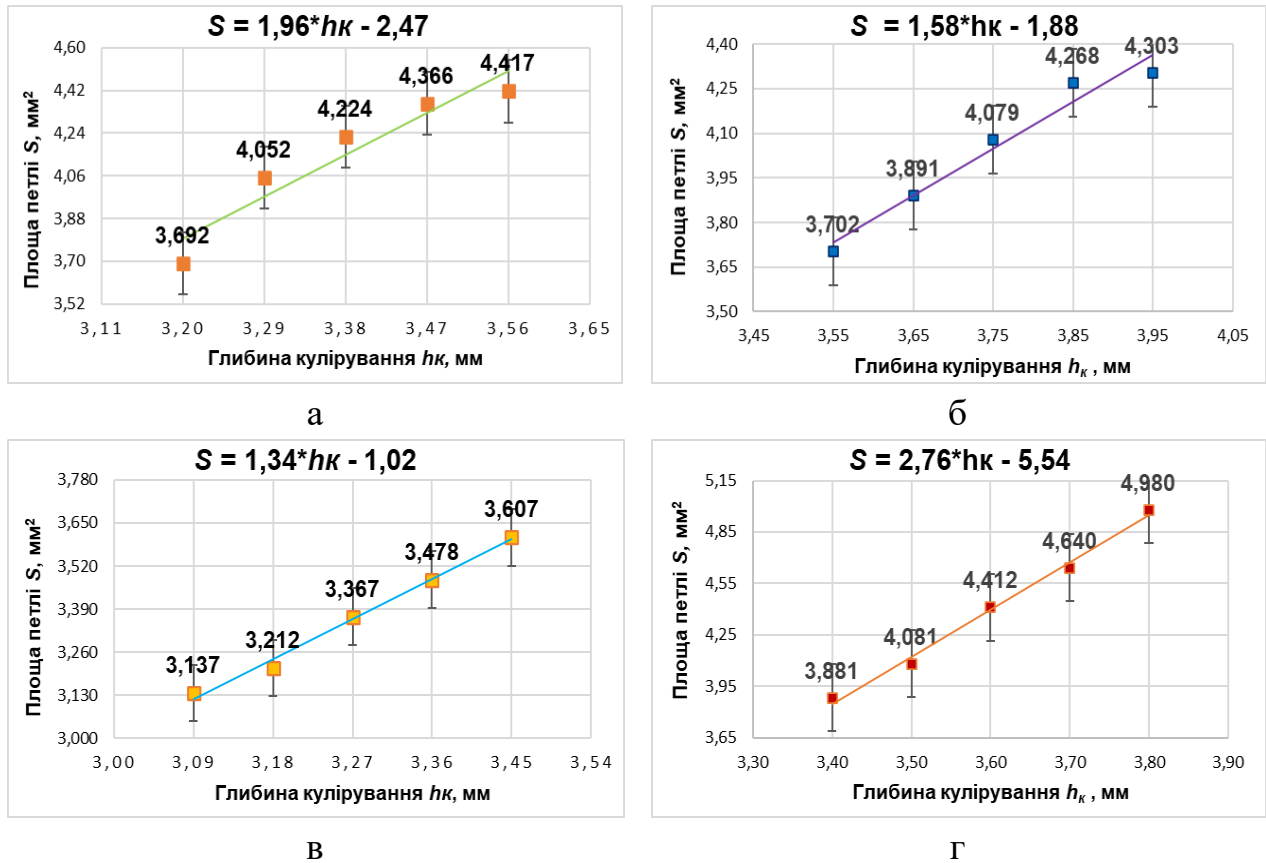


Рис. 3.21 Графіки залежності площі петлі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Зміна виду високоміцних ниток з поліетилену на пара-арамід у межах одного типу обладнання без платин типу ПВРК та максимальної щільності в'язання трикотажного матеріалу (рис.3.21 а, в) призводить до зменшення площі петлі на 17,7%. У випадку використання обладнання з платинами типу РА (рис.3.21 б, г) навпаки до збільшення на 4,8%. При цьому зміна обладнання типу плосков'язального обладнання з ПВРК на РА при використанні одного виду сировини, а саме *UHMWPE* ниток (рис.3.21 а, б) має не суттєвий вплив на площу петлі – 0,3%, при використанні *pA* нитки (рис.3.21 в, г) – навпаки до збільшення площі петлі на 23,7%.

Наступний параметр «Відстань між паличками в області голкової дуги петлі» встановлено з метою подальшого прогнозування формоутворення петель в структурі трикотажного матеріалу з високоміцних ниток та подальшого геометричного моделювання. На рис.3.22 наведено графіки залежності досліджуваного параметра від щільності в'язання у відповідності до обраного виду високоміцних ниток та типу плосков'язального обладнання.

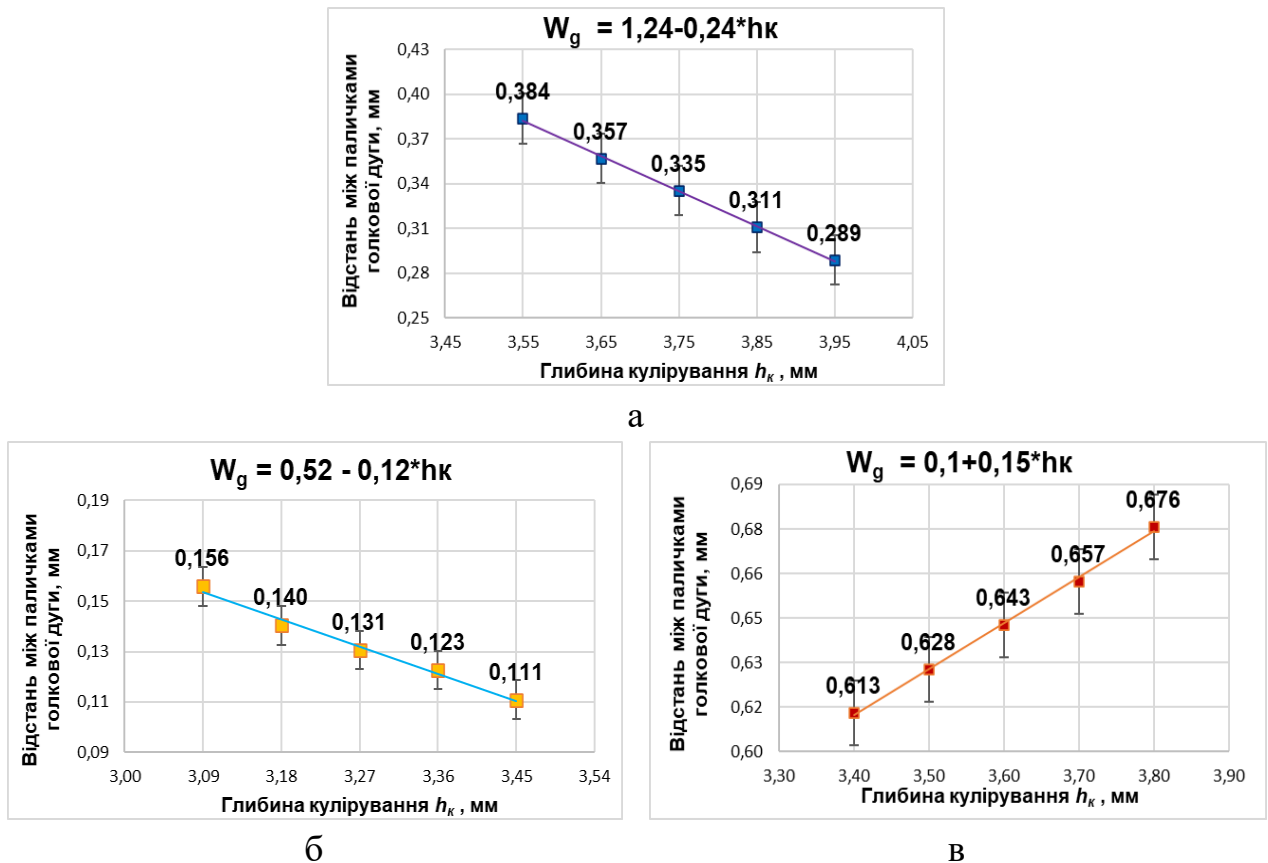


Рис. 3.22 Графіки залежності відстані між паличками в області голкової дуги трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з  $PA$  нитки з платинами типу  $PA$ : б) з  $UHMWPE$  нитки; в) з  $PA$  нитки

Трикотажний матеріал, вироблений з поліетиленових ниток на обладнанні без платин типу ПВРК, має симетричну рівну будову петель, де палички петлі незважаючи на зміну глибини кулірування щільно прилягають одна до одної, за рахунок фізико-механічних характеристик даного виду сировини та загальному зусиллю відтягування полотна. Натомість у трикотажному матеріалі з парамідних ниток, в якому формується зигзагоподібна структура петель у петельному стовпчику в суміжних петельних рядах, є відстань між паличками

петлі в області голкової дуги. Збільшення глибини кулірування у заданому діапазоні призводить до зменшення відстані між паличками в області голкової дуги у разі використання пара-арамідних ниток на 28,8% (рис.3.22 а), що обумовлено проявом пружних властивостей пара-арамідних ниток та зростанням кута нахилу остовів петель.

У випадку вироблення на обладнанні з платинами типу РА та використання *UHMWPE* ниток зменшення щільності в'язання призводить до зменшення відстані між паличками на 24,7%, а у разі *pA* ниток до зростання відстані між паличками на 10,3% (рис.3.22 б, в), що обумовлено пружними властивостями даного виду сировини та відсутністю загального зусилля відтягування полотна.

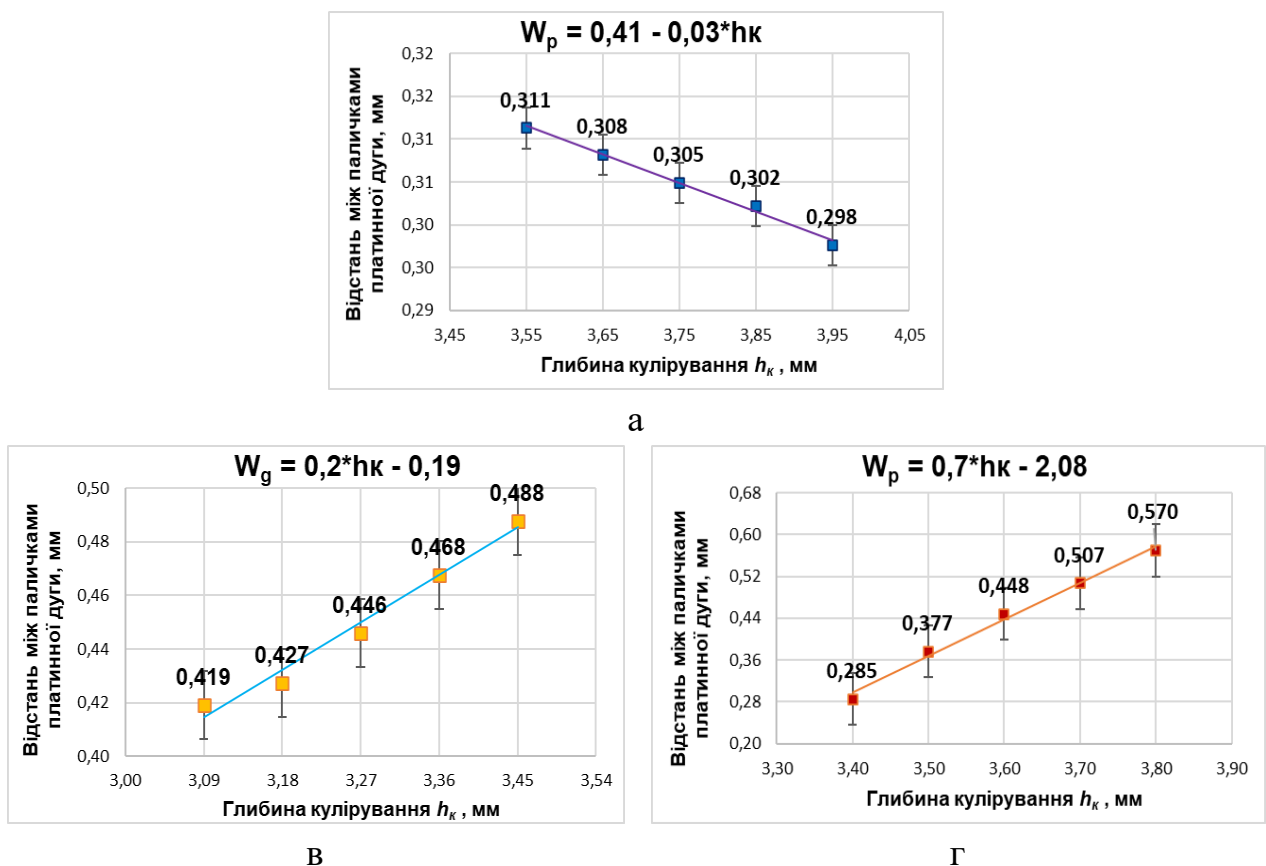


Рис. 3.23 Графіки залежності відстані між паличками суміжних петель в області платинної дуги трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному без платин типу ПВРК: а) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки

Параметр «Відстань між паличками суміжних петель в області платинної дуги» залежить як від класу в'язального обладнання, так і від його типу (з платинами чи без). У випадку вироблення на обладнанні без платин типу ПВРК

та використання *UHMWPE* ниток відстань між паличками в області платинної дуги як і у випадку з відстанню між паличками в області голкової дуги відсутня. Натомість у разі використання пара-арамідних ниток зі збільшенням глибини кулірування у випадку виготовлення трикотажного матеріалу на обладнанні без платин типу ПВРК збільшується відстань між паличками суміжних петель в області платинної дуги, а саме на 16,5% (рис.3.23 а).

Різний характер впливу зміни щільності в'язання на зміну відстані між паличками суміжних петель в області платинної дуги трикотажного матеріалу виявлено у випадку використання плосков'язального обладнання з платинами (рис.3.23 б, в), а саме: у разі використання *UHMWPE* нитки відстань зменшується на 4,2%, а у випадку *pA* нитки – зростає у двічі. Це обумовлено різним характером прояву пружних властивостей обраних видів високоміцних ниток після завершення контролю старих петель горловинами платин у процесі в'язання трикотажного матеріалу.

Оскільки трикотажний матеріал з пара-арамідних ниток, вироблений на плосков'язальній машині без платин (типу ПВРК), має зигзагоподібну будову петель в петельних стовпчиках, додатково довжину палички, кут нахилу дотичної у точці переплетення та кут нахилу остова петлі визначено у двох суміжних петельних рядах відповідно для лівої та правої сторони остова петлі.

Як видно з графіків, наведених на рис. 3.24, в усіх випадках збільшення глибини кулірування призводить до збільшення довжини нитки в петлі і відповідно до збільшення відрізка нитки в області палички остова петлі.

У разі використання плосков'язального обладнання з платинами (типу РА), які утримують своїми горловинами сформовані петлі, не виявлено різниці між лівою та правою паличками. При цьому довжина нитки у паличці остова петлі трикотажного матеріалу з *pE* ниток зі збільшенням глибини кулірування у заданому діапазоні збільшилася на 8,8%, з *pA* – 7,7% (рис.3.24 є, ж).

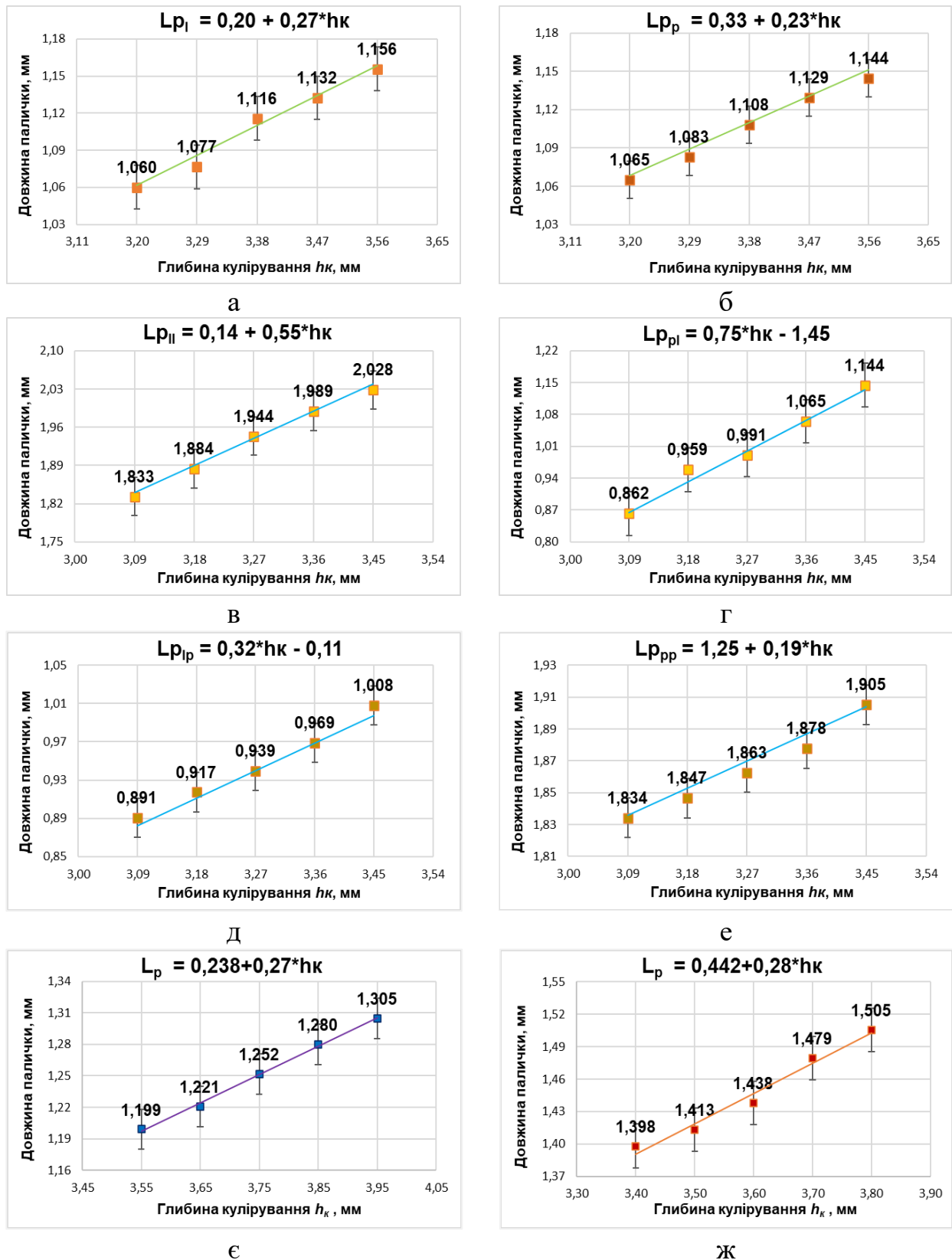


Рис. 3.24 Графіки залежності довжини нитки у паличці остова петлі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: з *UHMWPE* нитки а) ліва паличка; б) права паличка з *pA* нитки в) ліва паличка з нахилом уліво; г) права паличка з нахилом уліво; д) ліва паличка з нахилом вправо; е) права паличка з нахилом вправо; з платинами типу PA: є) з *UHMWPE* нитки; ж) з *pA* нитки



У випадку виготовлення дослідних зразків трикотажного матеріалу з *pA* ниток на обладнанні без платин типу ПВРК зі зворотно-поступальним рухом каретки, як вже зазначалося раніше, формується зигзагоподібна будова петель в суміжних петельних рядах. Тому було прийнято рішення дослідити ліву та праву палички остова петлі, щоб зрозуміти як рух каретки впливає на симетричність її форми. У разі вироблення зразків трикотажного матеріалу з *UHMWPE* ниток, в якому елементи остова петлі мають симетричну будову, зміна глибини кулірування призводить до збільшення довжини лівої та правої палички на 9,1% та 7,4% відповідно (рис.3.24 а, б). Внаслідок зигзагоподібної будови у зразках з *pA* досліджено вплив глибини кулірування на довжину палички у двох суміжних рядах: у петлі з нахилом вліво ліва паличка збільшилася на 10,6%, права – на 32,7% (рис.3.24 в, г); у петлі з нахилом вправо довжина нитки у паличці збільшилася на 13,1% та 3,9% з лівої та правої сторони відповідно (рис.3.24 д, е).

Таким чином, зі збільшенням глибини кулірування, а відповідно і довжини нитки в петлі спостерігається лінійний характер зміни довжини палички остова петлі дослідних зразків трикотажного матеріалу незалежно від виду сировини та типу плосков'язального обладнання.

На рис. 3.25 наведено графіки залежності кута нахилу дотичної у точці переплетення зі зміною глибини кулірування для дослідних зразків, вироблених з двох видів високоміцних ниток на двох типах в'язального обладнання.

Кут нахилу дотичної у точці переплетення є важливою характеристикою геометрії осьової лінії нитки в петлі трикотажного матеріалу, яка залежить від фізико-механічних характеристик сировини та параметрів в'язання. Як видно з графіків рис. 3.25, на характер зміни кута нахилу дотичної у точці переплетення зі збільшенням глибини кулірування впливає тип в'язального обладнання. А саме участь у процесі формування петель платин.

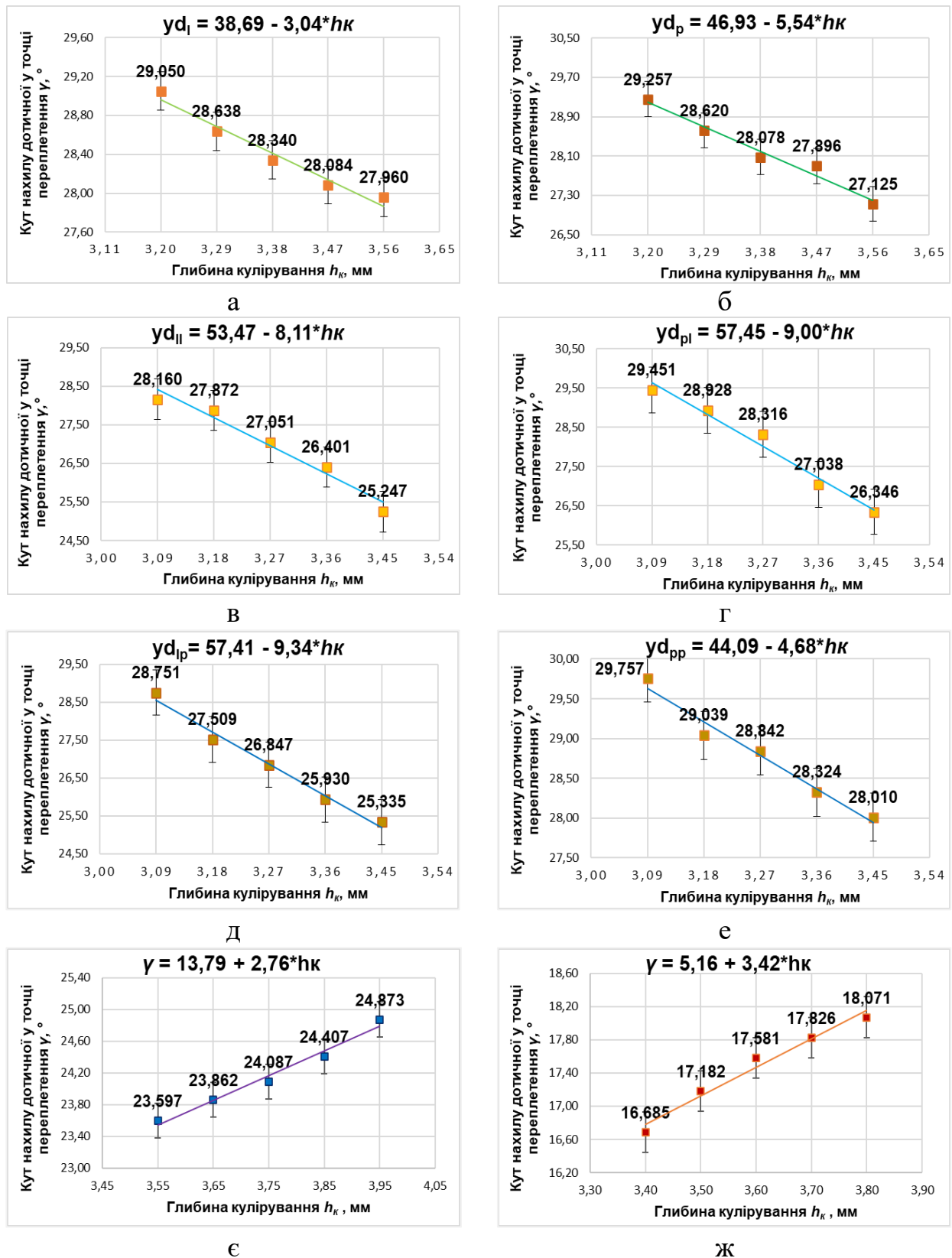


Рис. 3.25 Графіки залежності кута нахилу дотичної у точці переплетення трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки а) ліва паличка; б) права паличка з *pA* нитки в) ліва паличка з нахилом уліво; г) права паличка з нахилом уліво; д) ліва паличка з нахилом вправо; е) права паличка з нахилом вправо; з платинами типу PA: є) з *UHMWPE* нитки; ж) з *pA* нитки

Так у випадку вироблення трикотажного матеріалу на обладнанні без платин типу ПВРК, величина кута нахилу дотичної у точці переплетення зі збільшенням глибини кулірування зменшується, а саме: у разі використання *pE* нитки ліворуч на 3,8%, праворуч на 7,3% (рис.3.25 а, б). У випадку використання *pA* нитки, коли формується зигзагоподібна будова петель, нами досліджено кут нахилу дотичної з кожної сторони остова петлі у двох суміжних петельних рядах. Зі зміною глибини кулірування у заданому діапазоні кут нахилу дотичної у точці переплетення для петлі з нахилом уліво зменшується ліворуч на 10,3% праворуч – 10,5% (рис.3.25 в, г), для петлі з нахилом управо ліворуч 11,9%, праворуч 5,9% (рис.3.25 д, е). У разі вироблення трикотажного матеріалу на обладнанні з платинами типу РА, кут нахилу дотичної у точці переплетення навпаки зростає, а саме: використання *pE* нитки на 5,4%, у випадку *pA* на 8,3% (рис.3.25 є, ж).

Це можна пояснити тим, що у разі забезпечення загального зусилля відтягування за допомогою гребінки з тягарцями, після скидання старих петель на нові відбувається перерозподіл нитки з голкових та платинних дуг у палички остовів петель. При цьому зростає ступінь орієнтації нитки в петлі у напрямку петельних стовпчиків. У випадку вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні з платинами, горловини платин фіксують відрізок нитки в області платинних дуг, тим самим перешкоджаючи перерозподілу нитки у палички остовів петель.

Кут нахилу паличок остова петлі є важливою характеристикою форми петлі, від якої залежить розмір та форма наскрізних пор, а відповідно і фізико-механічні характеристики одержаного трикотажного матеріалу. На рис. 3.26 наведені побудовані графіки залежності кута нахилу палички остова петлі залежно від щільності в'язання трикотажного матеріалу. Як видно з графіків (рис. 3.26), тип плосков'язального обладнання та вид високоміцних ниток впливає на характер зміни та величину кута нахилу паличок остова петлі, що можна пояснити фізико-механічними характеристиками ниток, відсутністю чи наявністю платин під час виконання операцій процесу петлетворення та особливостями виконання операції відтягування.

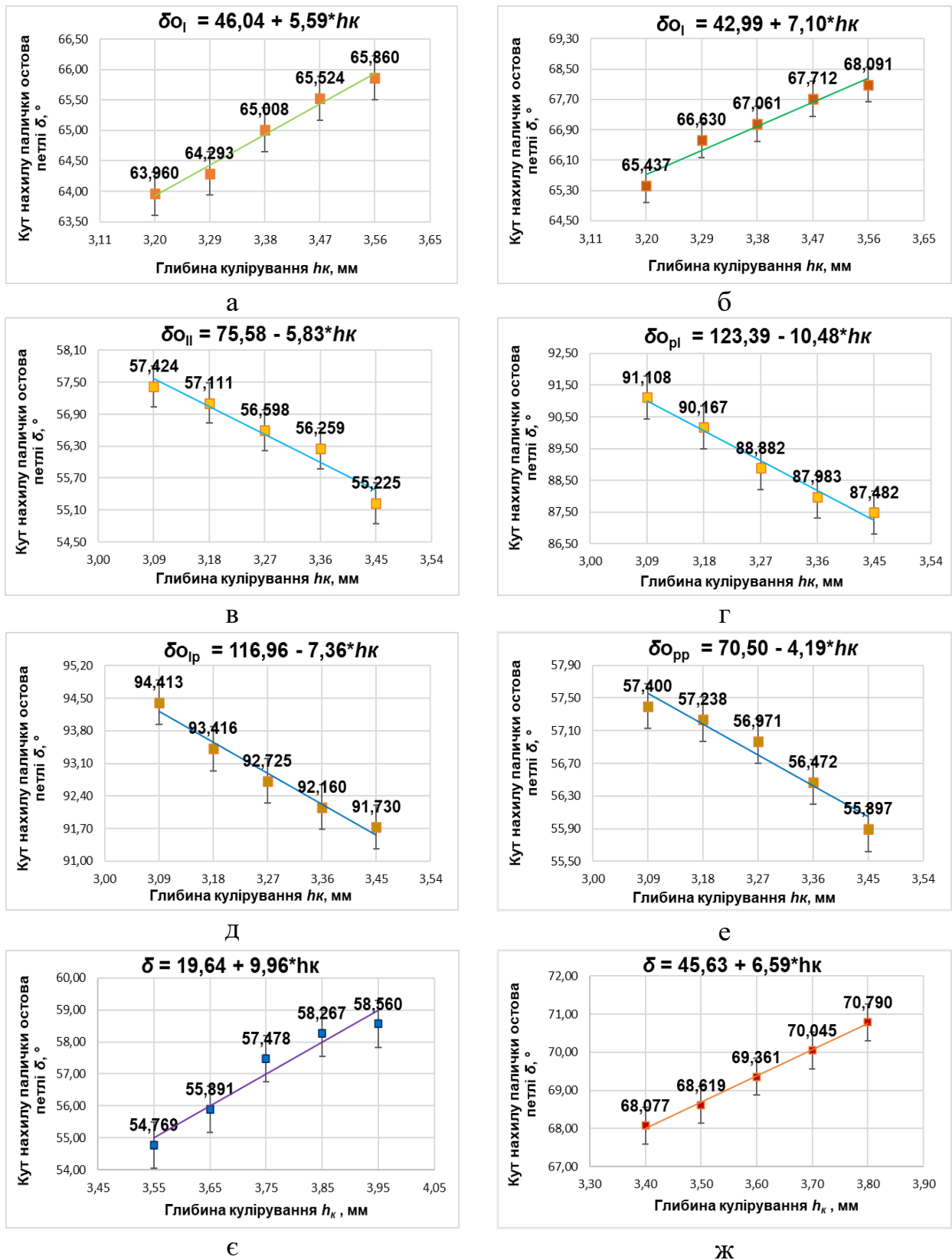


Рис. 3.26 Графіки залежності кута нахилу паличок остова петлі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: з *UHMWPE* нитки а) ліва паличка; б) права паличка з *pA* нитки в) ліва паличка з нахилом уліво; г) права паличка з нахилом уліво; д) ліва паличка з нахилом вправо; е) права паличка з нахилом вправо; з платинами типу PA: є) з *UHMWPE* нитки; ж) з *pA* нитки

Порівняльний аналіз величини даного параметру в дослідних зразках трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК), дозволяє зробити висновок, що зміна глибини кулірування не має суттєвого впливу і коливається в межах 3-4% незалежно від виду високоміцних ниток. Однак при цьому на характер зміни кута нахилу паличок остова петлі має вплив напрямок, в якому сформовано ряд петель (напрямок руху в'язальної каретки). При використанні *pE* ниток зміна глибини кулірування призводить до зростання величини кута нахилу лівої палички остова петлі на 3%, правої – на 4,1% (рис.3.26 а, б). У разі використання *pA* нитки зміна глибини кулірування призводить навпаки до зменшення кута нахилу паличок остова петлі, а саме: для петель з нахилом уліво кут нахилу лівої палички зменшився на 3,8%, правої – на 4% (рис.3.26 в, г), для петель з нахилом вправо кут нахилу лівої палички зменшився на 2,8%, правої – 2,6% (рис.3.26 д, е).

Для обладнання типу РА з платинами, на якому трикотажний матеріал виробляється у вигляді трубки за годинниковою стрілкою, кут нахилу лівої та правої паличок остова петлі однаковий. Це пояснюється тим, що у процесі формування петель приймають участь платини які утримують своїми горловинами платинні дуги петель від підйому разом з голкою. У випадку використання *pE* ниток зміна глибини кулірування призводить до збільшення кута нахилу палички остова на 6,9%, у разі *pA* – на 4% (рис.3.26 є, ж).

Зміна виду високоміцних ниток з поліетилену на пара-арамід у випадку вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальній машині з платинами при мінімальному рівні глибини кулірування призводить до зростання кута нахилу паличок остова петлі на 24,3%. Це у свою чергу призводить до зміни конфігурації осьової лінії нитки в петлі та відповідно до зміни характеру опору трикотажного матеріалу механічним впливам (проколювання, прорізування, продавлювання кулькою).

### Висновки до розділу 3

1. Встановлено, що на формоутворення петель кулірного трикотажу з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток, за умови однакової довжини нитки в петлі та класу в'язального обладнання, впливають особливості виконання окремих операцій процесу петлетворення: кулірування, формування та відтягування. Це у свою чергу безпосередньо залежить від типу в'язального обладнання та конструкції робочих органів, задіяних при виконанні окремих операцій процесу петлетворення.

2. На основі проведеного аналізу взаємодії у процесі в'язання високоміцних ниток з робочими органами плосков'язального обладнання з платинами та без, розроблено відповідні геометричні моделі петель на етапі їх формування.

3. Встановлено, що у разі вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні без платин під дією загального зусилля відтягування полотна відбувається перерозподіл нитки з платинних дуг у палички остовів петель. При цьому нитка в петлі зорієнтована у напрямку петельних стовпчиків.

4. У разі виготовлення дослідних зразків з пара-арамідної нитки внаслідок прояву її пружних властивостей відбувається нахил остовів новостворених петель трикотажного матеріалу в сторону руху каретки. Після зняття трикотажного матеріалу з машини в структурі формується зигзагоподібна будова петель у петельному стовпчику.

5. Встановлено, що при виробленні трикотажного матеріалу з обраних високоміцних ниток на плосков'язальному обладнанні з платинами типу рукавичковий автомат РА (ПА-8-33) петлі мають прямокутну форму. Це пояснюється тим, що у момент формування нових петель платинні дуги розташовуються на підборідді платини. При цьому горловини платини утримують платинні дуги старих петель від підйому разом з голкою. За рахунок утримання платинами платинних дуг петель, сформованих у попередньому циклі петлетворення та відсутності додаткового прикладеного зусилля відтягування,

яке діє на трикотажний матеріал, форма петель залишається незмінною після зняття його з машини.

6. Модуль жорсткості поліетиленових  $3.2 \cdot 10^3$  та пара-арамідних ниток  $3.8 \cdot 10^3$ , безпосередньо впливає на величину навантажень, які виникають у нитці при формуванні петлі на плосков'язальних машинах, на форму самої петлі з урахуванням умов відтягування полотна, на силу тертя в зоні контакту ниток старої та нової петель. Визначення натягу нитки при формуванні нової петлі, при русі нитководу вправо, максимальний натяг буде мати ліва гілка петлі, а при русі вліво – права гілка петлі. Це пояснює нахил петель у трикотажному матеріалі при в'язанні на плосков'язальних машинах.

7. Для розв'язання систему двох трансцендентних рівнянь з двома невідомими у ході визначення параметрів перетину сегменту (центральный кут сегменту деформованого перетину; радіус сегменту деформованого перетину; довжину лінії контакту бази сегменту деформованого перетину; ординату центра мас сегменту деформованого перетину) для розрахунку геометричних моментів інерції перетину у якості чисельного метода, реалізовано модифікований метод Ньютона.

8. У ході розрахунків з визначення натягу при взаємодії пара-арамідних та поліетиленових комплексних ниток з робочими органами плосков'язальної машини прийнято наступні характеристики високоміцних ниток та робочих органів в'язальної машини: коефіцієнт тертя (для пара-арамідних комплексних ниток – 0,28, для поліетиленових комплексних ниток – 0,15); натяг ниток до голки (10 сН); діаметр голки машини (без платин типу ПВРК – 0,6 мм, з платинами типу РА ПА-8-33 – 0,7 мм); розрахункове значення кута охоплення ниткою напрямної приймалося близьким до  $\pi$ .

9. Одержані у ході реалізації активного експерименту однофакторні регресійні математичні залежності дозволять відповідно до обраного рівня глибини кулірування нитки на плосков'язальному обладнанні визначити на етапі проектування характеристики форми петель трикотажних матеріалів для двох

видів високоміцних ниток (високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних).

10. Встановлено, що на ширину петлі дослідних зразків трикотажного матеріалу, виробленого з високоміцних ниток однакової лінійної густини впливає тип в'язального обладнання (з платинами або без). Зокрема зміна в'язального обладнання з ПВРК на РА призводить до збільшення ширини петлі на 34 % для UHMWPE та 27,2% для *pA*. Зміна виду високоміцних ниток з поліетилену на пара-арамід призводить до зменшення ширини петлі, а саме: на машині без платин типу ПВРК на 7,4%, на машині з платинами РА - на 12,1%.

11. Висота петлі трикотажного матеріалу напряму залежить від глибини кулірування, тому її збільшення призводить до зростання величини висоти петлі. Зміна високоміцних ниток з *pE* на *pA* призводить до зменшення висоти петлі на обладнанні без платин (типу ПВРК) на 8,7%, на обладнанні з платинами (типу РА) призводить навпаки до збільшення висоти петлі на 24,9% через зигзагоподібну будову петель з пара-арамідних ниток. Зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК на РА за умови максимальної щільності в'язання призводить до зменшення висоти петлі у разі використання *pE* ниток на 26,1%. У випадку використання *pA* ниток зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК на РА призводить до несуттєвого зростання висоти петлі на 1,1% в межах похибки вимірювань.

12. Моделювання петельної структури трикотажних матеріалів, яка відповідатиме реальним об'єктам, ускладнюється її нестабільністю й нерівномірністю внаслідок прояву фізико-механічних властивостей ниток, зігнутих в петлі.

13. Встановлені регресійні математичні залежності, що описують взаємозв'язок між обраним типом плосков'язального обладнання, обраним рівнем глибини кулірування та характеристиками форми петель забезпечать формування банку даних для подальшого 3D моделювання структури трикотажного матеріалу та проведення віртуальних експериментів в комп'ютерних системах імітаційного моделювання з визначення механічних



характеристик трикотажного матеріалу та прогнозування його властивостей. Це, у свою чергу, дозволить виключити необхідність виготовлення реальних зразків трикотажу та проводити натуральні експерименти з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими фізико-механічними характеристиками.

### Список використаних джерел до розділу 3

1. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу плосков'язального обладнання на петельну структуру трикотажу, виробленого з сировини підвищеної міцності та у поєднанні з металевою монониткою. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 1 (281). С. 80–86. URL: DOI: 10.31891/2307-5732-2020-281-1-98-104.
2. Дмитрик О. М., наук. кер. Галавська Л. Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на форму петель трикотажу з сировини підвищеної міцності. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVII Всеукр. наук. конф. Молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ)*. Київ: КНУТД, 2018. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 266–267. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11920> (дата звернення: 13.06.2024).
3. Дмитрик О. М., наук. кер. Галавська Л. Є. Дослідження впливу особливостей виконання операції кулірування на плосков'язальному обладнанні на якість петельної структури трикотажу, виробленого з параараміної нитки у поєднанні з металевою монониткою. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVIII Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів (18-19 квітня 2019 р., Київ)*. Київ: КНУТД, 2019. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 221–222. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13641> (дата звернення: 13.06.2024).
4. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. The influence of knitting parameters on the parameters of the structure and shape of the loop of knitted material

from high-strength threads. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (м. Київ, 21 жовтня 2022 р.). Київ : КНУТД, 2022. Р. 56–58 URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/21269> (дата звернення: 13.06.2024).

5. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Вплив технологічних факторів одержання трикотажу з високоміцних ниток на форму петель та параметри його структури. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 5. С. 76–85. DOI: [10.30857/2786-5371.2023.5.6](https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.6).

6. Halavska L., Dmytryk O. Influence of technological factors on the loop formation and structure parameters of knitwear made on glove knitting machine. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн-технологій KyivTex&Fashion* (м. Київ, 19 жовтня 2023 р.). Київ : КНУТД, 2023. С. 213–215. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25443> (дата звернення: 13.06.2024).

7. Крилова Л. О., Мельник Л. М. Основи теорії в'язання: підручник Київ : Кафедра, 2015. 304 с.

8. Гайдамака В. К., Кизимчук О. П. Основи технології виробів заданої форми. Київ : Кафедра, 2013. 216 с.

9. Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Щербань В. Ю., Боброва С. Ю., Аушева Н. М. Моделювання структури трикотажу: монографія. Київ : ЛІНО, 2022. 204 с.

10. Клочко О. І. Дослідження у трикотажній галузі: навч. посіб. Київ : КНУТД, 2006. 190 с.

## **РОЗДІЛ 4**

# **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ПЛОСКОВ'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПАРАМЕТРИ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК**

Текстильні матеріали з високоміцних ниток все частіше використовуються в промислових і військових цілях для виготовлення одягу, 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 описану у розділі 3 і, як наслідок, призводитиме до різного характеру руйнування трикотажного матеріалу під дією механічних ушкоджень.

### **4.1 Дослідження факторів, що впливають на міцність вихідної сировини**

Імітація процесу розірвання трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання передбачає попередній процес вивчення поведінки ниток під дією силових навантажень та дослідження факторів, що впливають на її міцність під час прикладання розтягуючих зусиль. Задля визначення впливу затискної довжини, кількості ниток, що опираються розриву та умови заправки (прямолінійний відрізок нитки чи петлею) на розривальні характеристики високоміцних поліетиленових та

пара-арамідних ниток нами проведено відповідні експериментальні дослідження [1].

Вивчення розривальних характеристик високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток лінійної густини 44 текс×3 здійснено у відповідності до стандартизованого методу [2] та використаної методики випробовувань проб, наведеної у розділі 2. Для співставлення результатів з позиції впливу кількості ниток, що опираються розриву, на підставі одержаних результатів величини розривального зусилля розраховано питоми розривальне зусилля, тобто зусилля, що припадає на одну нитку  $P_{1Н}$  при випробуванні її різними методами, яке розраховується як відношення величини середнього розривального навантаження на нитку  $P_n$  до кількості ниток, що чинять опір розриву ( $n$ ) [3]:

$$P_{1Н} = \frac{P_n}{n} \quad (4.1)$$

Одержані у результаті досліджень середні значення величин розривального навантаження та видовження для поліетиленових ( $pE$ ) та пара-арамідних ниток ( $pA$ ) представлено у таблицях 4.1 – 4.2.

Таблиця 4.1

## Результати досліджень розривального навантаження

Кількість кінців	Затискна довжина											
	25		50		75		100		200		300	
	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$
в 3	271,9	214,1	311,2	239,7	319,9	218,2	305,5	203,9	249,6	196,5	207,5	193,2
в 6	514,9	432,1	595,1	467,7	601,7	436,1	605,1	408,3	490,3	383,0	425,4	355,5
петлею	275,1	210,6	291,5	251,3	307,3	261,8	298,8	258,9	266,1	254,6	212,6	225,5

Таблиця 4.2

## Результати досліджень розривального видовження

Кількість кінців	Затискна довжина											
	25		50		75		100		200		300	
	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$
в 3	10,4	8,9	6,0	5,8	5,3	3,7	4,0	3,7	2,5	6,7	3,8	8,3
в 6	12,4	9,9	8,8	6,8	7,3	3,8	5,6	4,4	3,1	6,4	3,3	9,3
петлею	4,2	4,8	3,5	4,1	2,9	2,5	2,5	2,9	1,9	4,5	2,3	5,7

За результатами випробувань побудовано діаграми розривального навантаження та видовження для двох обраних видів ниток (високомолекулярної поліетиленової та пара-арамідної), які наведено на рис. 4.1–4.6. Оскільки випробовування проведено з ниткою у 3 та 6 кінців, то для співставлення одержаних результатів пропонується оперувати величиною питомого розривального навантаження, тобто зусилля, що припадає на одну нитку.

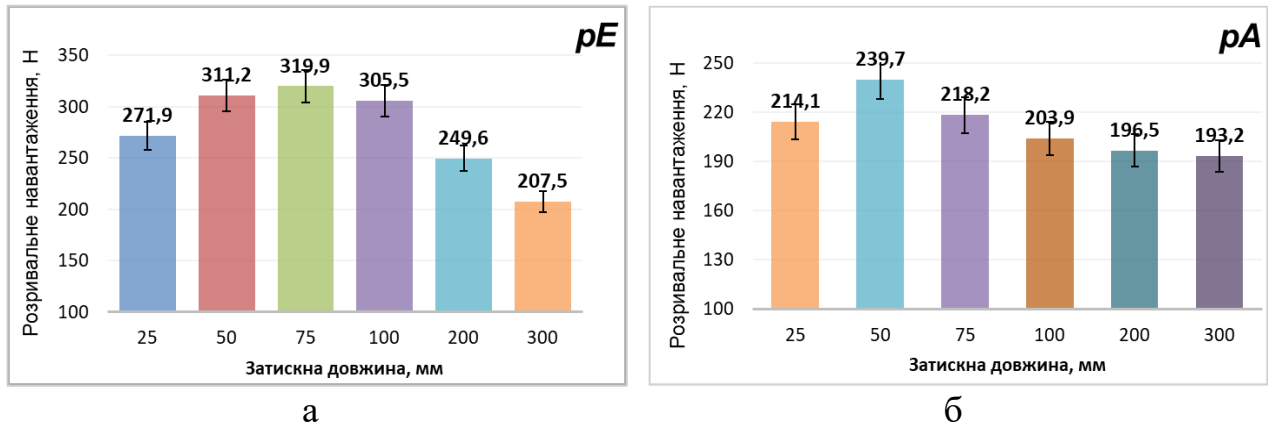


Рис.4.1 Діаграми розривального навантаження при заправці у затискачі 3 ниток: а) з *UHMWPE* нитки; б) з *pA* нитки

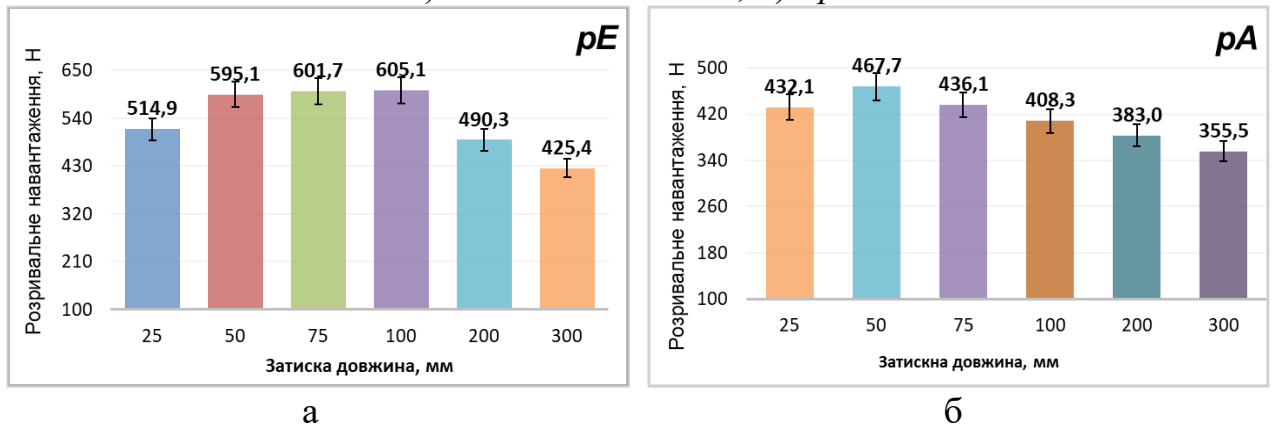


Рис.4.2 Діаграми розривального навантаження при заправці у затискачі 6 ниток: а) з *UHMWPE* нитки; б) з *pA* нитки

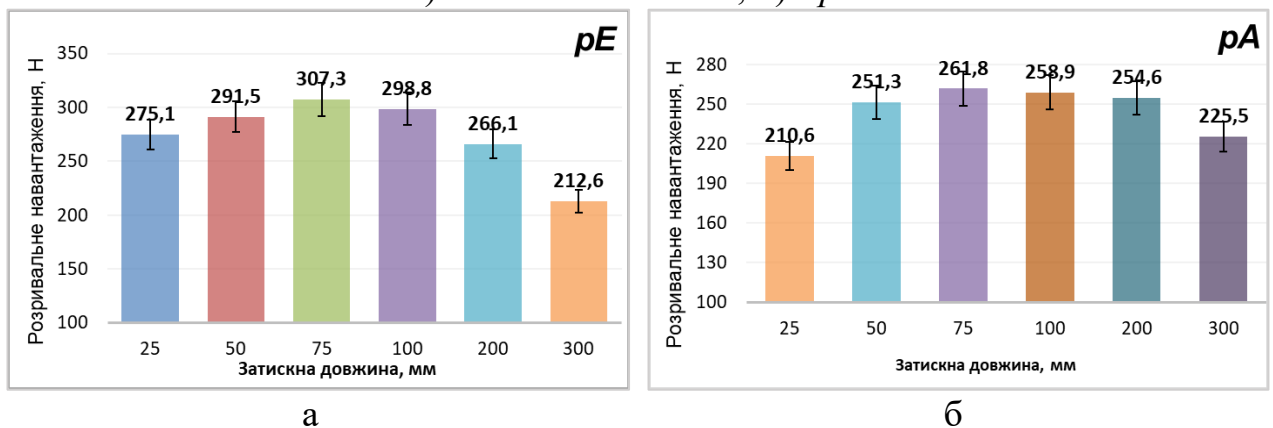


Рис.4.3 Діаграми розривального навантаження при заправці нитки петлею а) з *UHMWPE* нитки; б) з *pA* нитки

Слід відзначити, що на розривальні характеристики досліджуваних високоміцних ниток впливає затискна величина. Нами встановлено, що у випадку використання поліетиленових ниток розривальне навантаження зростає у діапазоні від 25 мм до 75 мм, а в діапазоні від 100 мм до 300 мм зменшується, що можна пояснити зменшенням площі поперечного перерізу елементарних волокон нитки (зміна межі пружності) [3, 4].

Співставлення одержаних нами результатів щодо величини розривального навантаження у разі формування дослідної проби з 3 та 6 паралельно розташованих пара-арамідних ниток, вказує на те, що найбільша величина розривального зусилля спостерігається при затискній довжині 50 мм. Подальше збільшення затискної довжини вимірювальної проби у діапазоні 50 мм÷300 мм призводить до зменшення розривального навантаження. Результати випробувань вказують на те, що опір, який чинять пара-арамідні нитки при заправці їх у затискачах розривної машини у 6 кінців порівняно із заправкою у 3 кінці, пропорційно у двічі більший. Відмінність полягає у разі заправки ниток петлею (рис.4.3 б), при цьому у центрі проби розташована точка переплетення ниток. Слід зазначити, що за умови наявності в центрі проби точки переплетення у вигляді петлі (рис.4.3 б), характер зміни розривального навантаження відповідно до затискної довжини порівняно з пробами з нитки у 6 кінців. Зміна затискної довжини у діапазоні 50 мм ÷ 200 мм не призводить до суттєвих змін величини навантаження, яке витримує проба на момент розриву [5].

У ході випробувань нами виявлено, що у випадку використання поліетиленових ниток розривальне видовження зменшується зі збільшенням затискної величини у діапазоні від 25 мм до 200 мм, збільшення відбувається лише при затискній 300 мм (рис.4.4 а; рис.4.5 а).

Нами встановлено, що на величину розривального видовження пара-арамідних ниток, зміна затискної величини має інший характер впливу, а саме: збільшення затискної довжини у діапазоні 25 ÷ 75 мм призводить до зменшення розривального видовження, а подальше збільшення затискної довжини – до зростання його величини (рис.4.4 б; рис.4.5 б). При цьому кількість ниток у

заправці не має суттєвого впливу на величину відносного розривального видовження та знаходиться в межах похибки вимірювань.

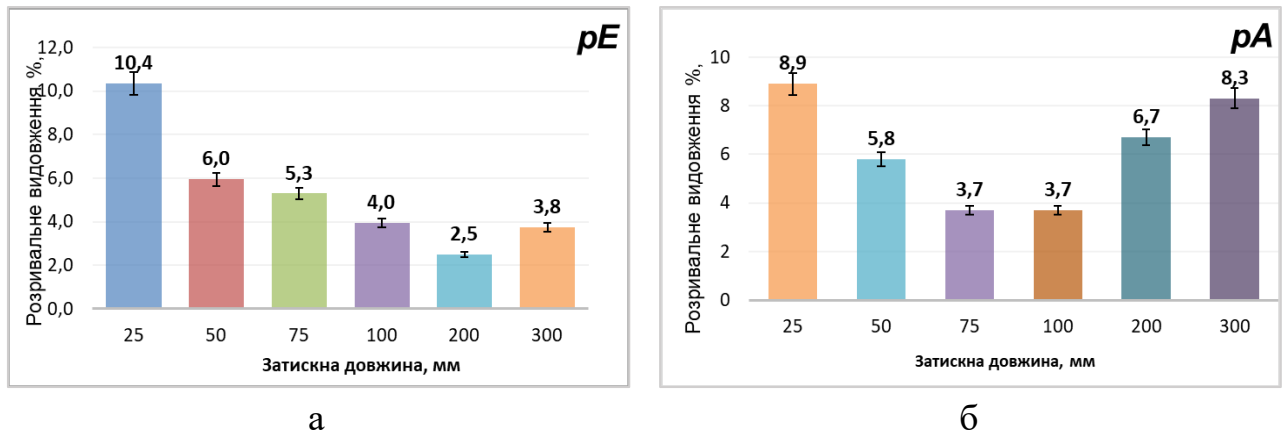


Рис.4.4 Діаграми розривального видовження при заправці у затискачі 3 ниток а) з UHMWPE нитки; б) з pA нитки

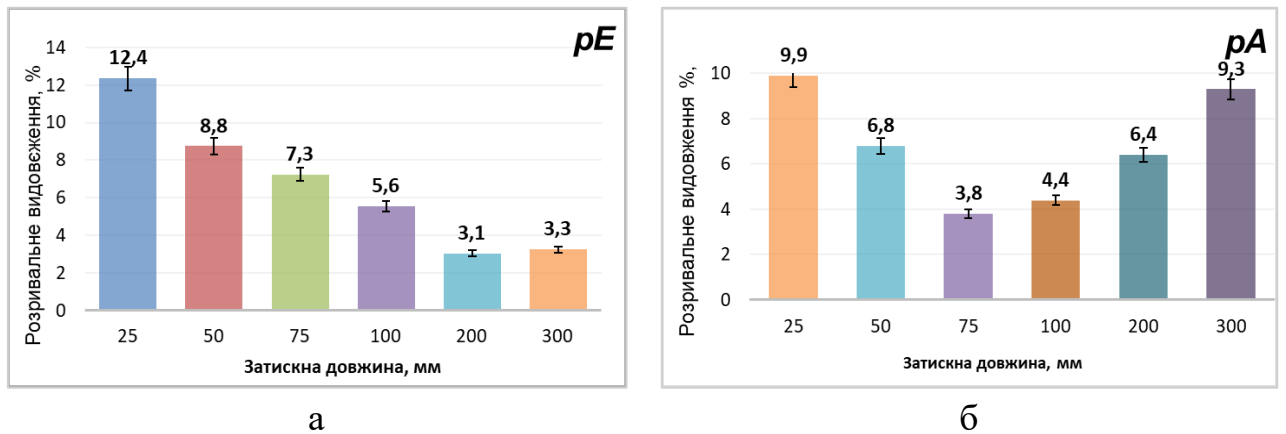


Рис.4.5 Діаграми розривального видовження при заправці у затискачі 6 ниток а) з UHMWPE нитки; б) з pA нитки

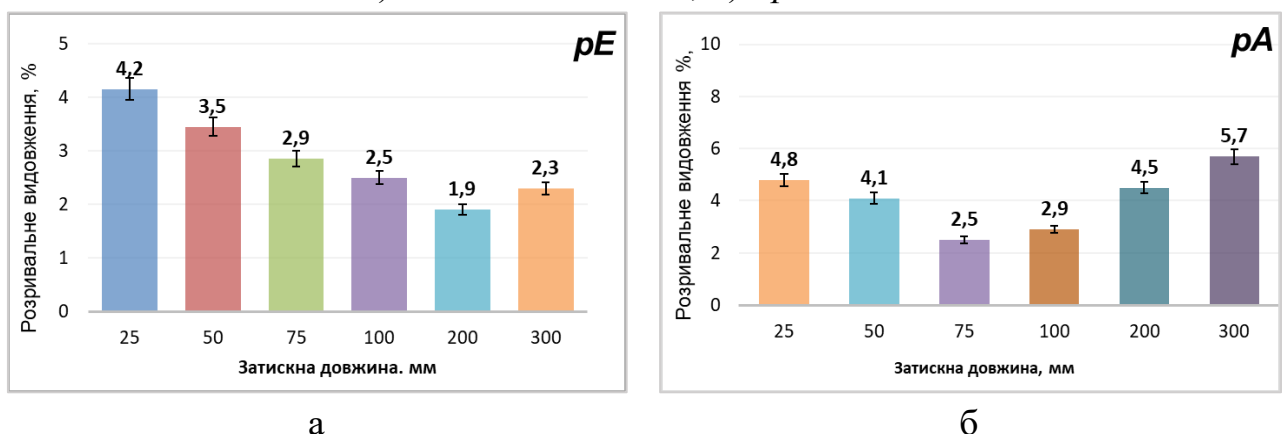


Рис.4.6 Діаграми розривального видовження при заправці нитки петлею а) з UHMWPE нитки; б) з pA нитки

Наявність у досліджуваній пробі точки переплетення у вигляді петлі (рис.4.6) не впливає на характер зміни відносного розривального видовження. Аналогічно спочатку величина відносного розривального видовження

зменшується у діапазоні затискної довжини  $25 \div 200$  мм для поліетиленової нитки, та  $25 \div 75$  мм для пара-арамідної нитки, а потім зростає у діапазоні затискної довжини  $300$  мм та від  $100 \div 300$  мм відповідно. Але порівняно з пробами з нитки у 6 кінців відносно розривальне видовження проб з розташуванням ниток у 3 кінці петлею зменшується у понад 1,5 рази (рис.4.5 б та рис.4.6 б). Таким чином, наявність точки переплетення у вигляді петлі впливає не на характер зміни, а саме на величину розривального видовження. Встановлені закономірності зміни величини розривального зусилля та відносного видовження слід враховувати у разі реалізації віртуальних експериментів з визначення механічних характеристик структури трикотажу в системах комп'ютерного моделювання.

Слід зауважити, що нитки у структурі трикотажного матеріалу зігнуті у петлі та мають точки переплетення, наявність яких впливає на механізм деформації розриву трикотажного матеріалу. При цьому для виявлення характеру впливу зміни положення точки переплетення по відношенню до рухомого затискача розривної машини на відрізок незмінної величини затискної довжини зміщували положення точки переплетення на відстань 25, 50 та 75 мм по відношенню до нерухомого затискача (рис.4.7). На рис.4.7 наведено заправку ниток петлею ( $25 \times 75$  мм) у затискачах розривної машини, який наглядно ілюструє характер розриву ниток при їх заправці петлею.

На підставі одержаних результатів щодо величини розривального навантаження та видовження у разі дослідження ниток при їхній заправці петлею нами побудовані відповідні діаграми (рис. 4.8).

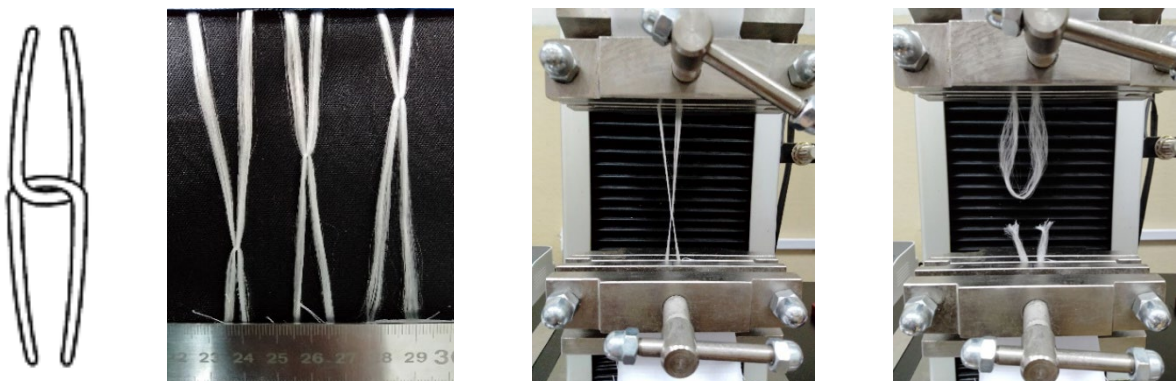




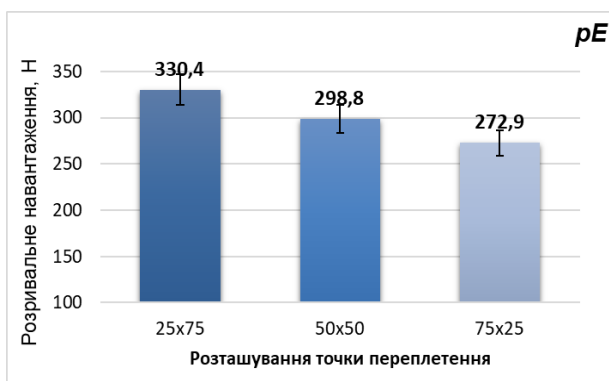


Рис. 4.7 Схема заправки нитки петлею у затискачах розривної машини

Таблиця 4.3

Результати досліджень розривального навантаження та видовження ниток петлею зі зміщенням точки переплетення

	Зміна положення точки переплетення					
	25×75		50×50		75×25	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
Fm(N)	330,4	283,7	298,8	265,5	272,9	225,7
A(%)	2,1	2,7	2,5	2,9	2,8	3,0



а



б



в



г

Рис. 4.8 Діаграми при заправці ниток петлею розривального навантаження: а) з *UHMWPE* нитки; б) з *pA* нитки розривального видовження: в) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Як видно з діаграм на рис.4.8 а, б зміщення точки переплетення від рухомого затискача до нерухомого призводить до зменшення величини розривального навантаження, що обумовлено зростанням зусилля, яке припадає на одиницю довжини відрізка нитки від точки переплетення до верхнього рухомого затискача. Зростання розривального видовження (рис.4.8 в, г) пояснюється збільшенням відрізка нитки від нерухомого затискача до точки переплетення, в якій зосереджена основна розривальна напруга. Слід також зауважити, що у разі використання високомолекулярної поліетиленової нитки величина розривального навантаження для всіх трьох випадків розташування точки переплетення у пробі більша порівняно з пара-арамідною ниткою на  $12,5 \div 20,9\%$ . При цьому вищий рівень величини розривального видовження спостерігається у випадку використання пара-арамідних ниток (на  $7,1 \div 28,5\%$  в залежності від розташування точки переплетення), що обумовлено фізико-механічними властивостями обраних видів високоміцних ниток.

#### **4.2 Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності ниток, перероблених у трикотажний матеріал**

У процесі переробки на в'язальному обладнанні комплексні високоміцні нитки, які огинають робочі органи з малим радіусом кривизни, піддаються згину та тертю, що у подальшому призводить до руйнування окремих філаментів та втрати міцності вихідної комплексної нитки. У процесі силових навантажень на трикотажну структуру спочатку відбувається перерозподіл нитки з платинних та голкових дуг у палички остовів петель при розтязі по довжині та навпаки з паличок остовів петель у голкові та платинні дуги при розтязі по ширині. Внаслідок цього відбувається видовження трикотажу у напрямку розтягу. По завершенню перерозподілу нитки під дією розтягуючого зусилля розпрямлені відрізки ниток в структурі трикотажу розпочинають чинити опір розривальному навантаженню, зокрема у точках переплетення ниток в петлях.

Для дослідження впливу типу плосков'язального обладнання обрано зразки при мінімальному рівні глибини кулірування, а саме для плоскофангової машини типу ПВРК з високомолекулярного поліетилену  $h_k - 3,2$  мм, з пара-араміду  $h_k - 3,09$  мм; для рукавичкового автомата ПА-8-33 з високомолекулярного поліетилену  $h_k - 3,55$  мм, з пара-араміду  $h_k - 3,4$  мм. Дане рішення прийнято з позиції того, що при мінімальній довжині нитки в петлі точки перегину нитки в місцях контакту нових та старих петель знаходяться максимально близько одна від одної, що призведе до більш чіткої картини впливу точок перегину на втрату міцності високоміцних ниток.

Як вже зазначалося, на обраних двох типах плосков'язального обладнання реалізується в'язальний послідовний процес петлетворення. Відмінність полягає у тому, що на плоскофанговій машині типу ПВРК у ході в'язання трикотаж знаходиться під впливом значного зусилля відтягування, яке за прикладеною силою є загальним, а на рукавичному автоматі операція відтягування забезпечується горловинами платин (зосереджене відтягування). Саме ці фактори й обумовлюватимуть, на нашу думку, різний характер втрати міцності ниток.

Особливості підготовки випробувальних зразків й визначення розривального навантаження та видовження нитки після в'язання описано в розділі 2. Випробування розривних характеристик виконано згідно існуючої стандартизованої методики, наведеної у розділі 2 [6]. Результати середніх значень ниток після в'язання та показник втрати міцності ниток представлено у таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4

Результати досліджень розривального навантаження ниток в 3 кінці

Fm(N)	Середні значення дослідження											
	25		50		75		100		200		300	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
ПВРК	312,2	194,8	305,2	189,6	303,1	185,1	297,6	206,0	289,2	192,2	279,2	185,7
РА	348,1	159,3	337,2	157,9	330,4	155,4	302,6	138,7	304,1	130,3	313,7	121,0

Таблиця 4.5

## Результати досліджень розривального видовження ниток в 3 кінці

A(%)	Середні значення дослідження											
	25		50		75		100		200		300	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
ПВРК	9,8	6,9	8,0	5,4	5,7	4,3	5,4	4,1	5,0	3,2	4,3	2,7
РА	12,6	5,5	7	4,1	6,2	3,5	5,5	3,0	5	2,4	4,8	2,4

Для того, щоб з'ясувати, який вплив на розривні характеристики поліетиленових та пара-арамідних ниток здійснює тип в'язального обладнання, нами проведено порівняльний аналіз одержаних результатів експериментальних досліджень. На підставі даних таблиці 4.4 та 4.5 побудовано діаграми (рис.4.9 – 4.10), які наглядно ілюструють вплив зміни виду сировини та типу в'язального обладнання на вищезазначені характеристики при зміні затискної довжини.

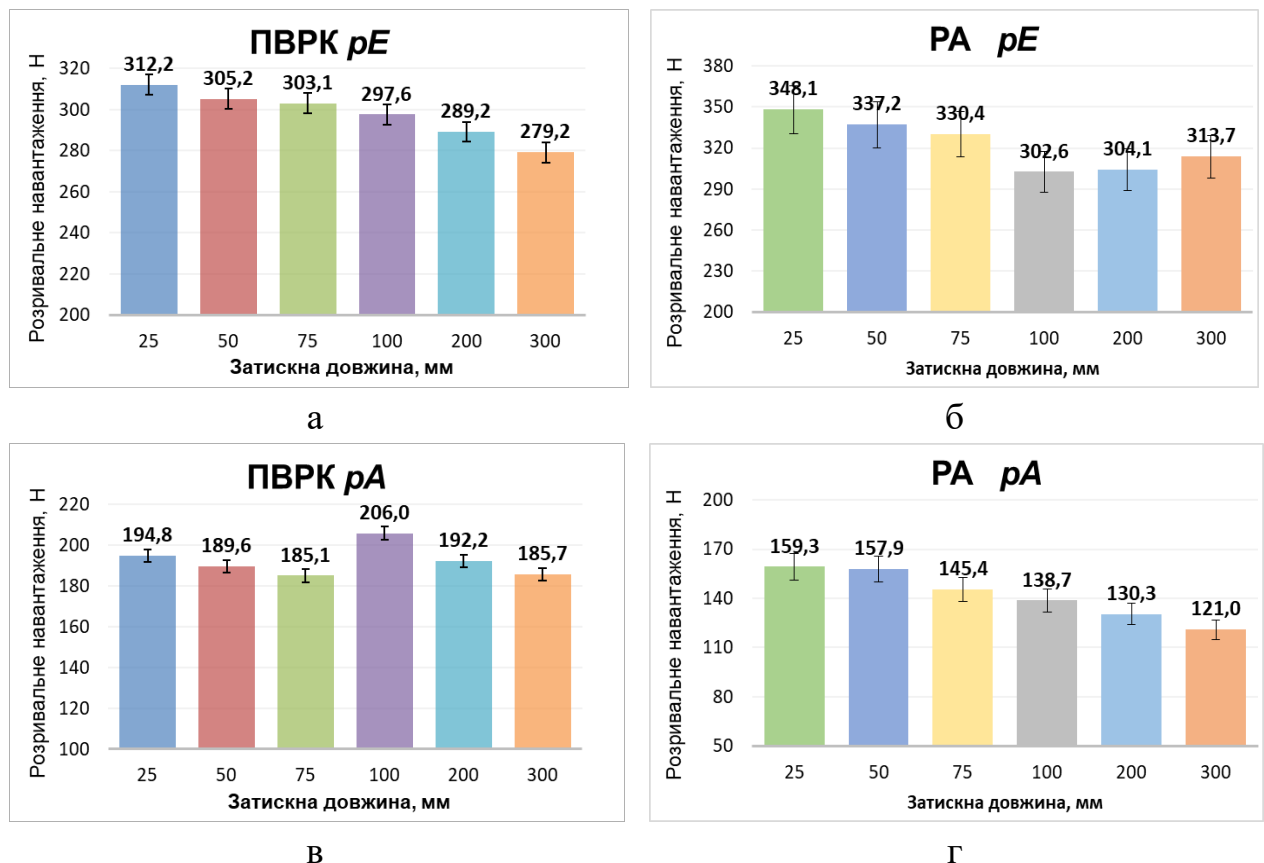


Рис.4.9 Діаграми розривального навантаження ниток після в'язання трикотажу

без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки  
з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Встановлено, що після переробки поліетиленових ниток на плоскофанговій машині без платин типу ПВРК (рис.4.9 а) зі збільшенням затискної довжини величина розривального зусилля зменшується, натомість у випадку переробки їх на обладнанні з платинами типу РА зафіксовано зменшення зусилля у діапазоні затискної довжини  $25 \div 100$  мм та незначне збільшення у разі затискної довжини від  $100 \div 300$  мм.

При переробці пара-арамідних ниток на обладнанні без платин типу ПВРК, де структура петель мала зигзагоподібну будову, відбувається зменшення величини розривального зусилля у діапазоні від 25 до 75 мм та пік зусилля при затискній довжині 100 мм й подальше спадання. Наявність даного піку можна пояснити зменшенням кількості точок перегину на одиницю довжини нитки в структурі трикотажного матеріалу. На РА з платинами спостерігається лінійний характер зменшення величини розривального зусилля зі збільшенням затискної довжини [7, 8].

Як видно з діаграм (рис. 4.9 а, б) зміна типу в'язального обладнання, на якому відбувається процес в'язання, з ПВРК на РА у випадку використання високомолекулярних поліетиленових ниток сприяє зменшенню силового навантаження на нитку і відповідно забезпечує більшу величину розривального навантаження, яке витримує нитка після її переробки на в'язальному обладнанні.

У випадку використання пара-арамідних ниток (рис. 4.9 в, г) спостерігаємо інший характер впливу типу в'язального обладнання. В'язання трикотажного матеріалу на РА без платин призводить до зменшення рівня зусилля, яке витримує нитка. Це можна пояснити фізико-механічними характеристиками даного виду високоміцних ниток (жорсткість на згин та пружність). У разі вироблення на обладнанні без платин нитка, сформована у петлю, під час в'язання піддається силовому навантаженню внаслідок дії на полотно гребінки з тягарцями.

На рис. 4.10 представлено побудовані діаграми величини розривального видовження, які наглядно ілюструють вплив затискної довжини на величину видовження під впливом прикладеного розривального зусилля.

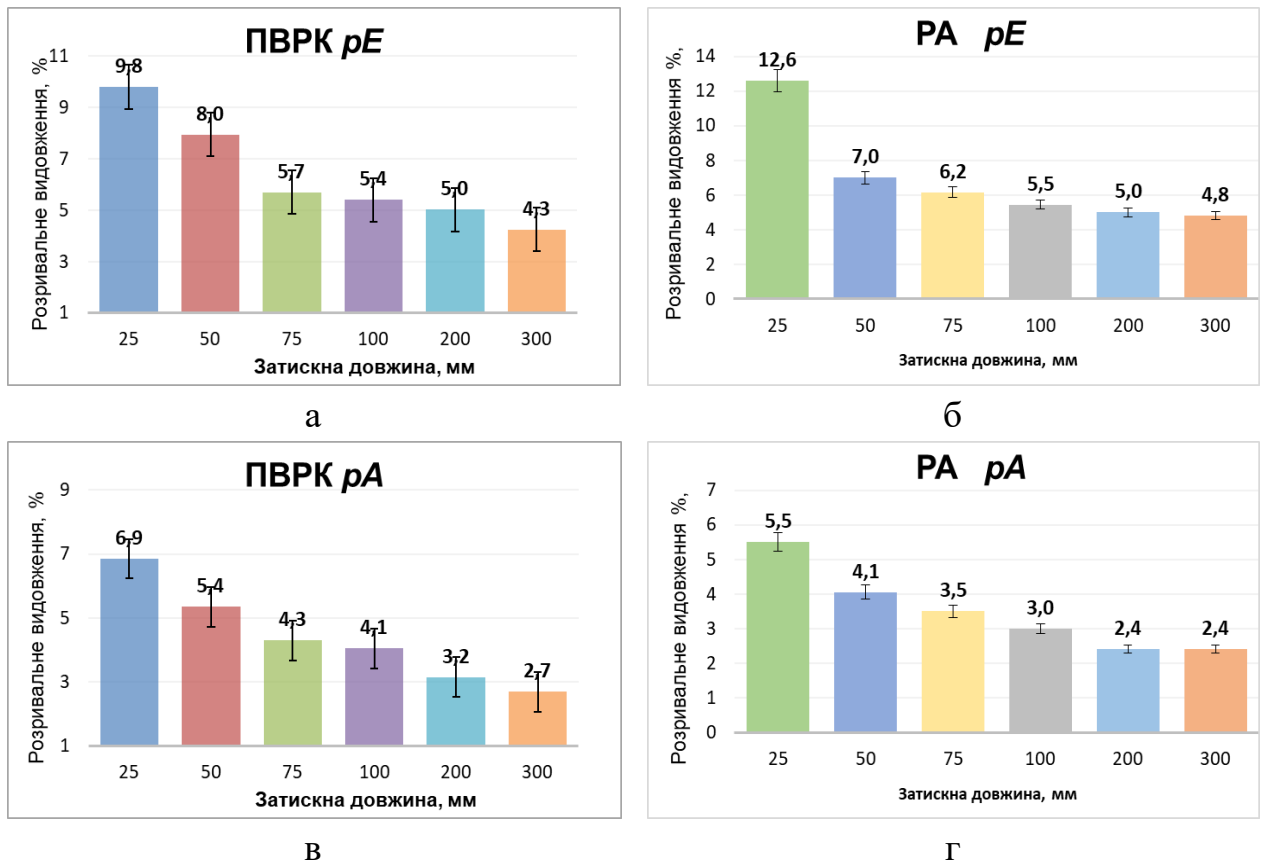


Рис.4.10 Діаграми розривального видовження ниток після в'язання трикотажу а) з *UHMWPE* нитки; б) з *рА* нитки

З діаграм видно, незалежно від впливу в'язального обладнання та виду сировини, зміна затискної довжини призводить до зменшення розривального видовження ниток. При цьому у випадку використання *UHMWPE* ниток зміна типу в'язального обладнання з ПВРК на РА призводить до збільшення величини розривального видовження при мінімальній затискній довжині на 28,6%, а у разі використання *рА* ниток навпаки до зменшення на 20,29%. Це можна пояснити різними фізико-механічними характеристиками двох видів високоміцних ниток.

#### 4.3 Експериментальні дослідження впливу типу плосков'язального обладнання та виду високоміцних ниток на параметри структури трикотажного матеріалу

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 з кроком 0,1 мм за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання. 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 з кроком 0,09 мм за умови незмінного натягу нитки у процесі в'язання та однаковим зусиллям відтягування полотна.

У таблицях 4.6 – 4.7 наведено середні значення параметрів петельної структури (за методиками описаними в розділі 2) досліджуваних трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні двох типів (з платинами та без) при п'яти рівнях щільності в'язання.

Таблиця 4.6

Характеристика дослідних зразків трикотажних матеріалів  
з плоскофангової машини без платин (типу ПВРК )

№ зразка	Величина		Середні значення параметрів структури									
	глибини кулірування $h$ , мм		довжина нитки в петлі $\ell$ , мм		кількість пет. стовпчиків, $N_c$		кількість пет. рядів, $N_p$		товщина $M$ , мм		поверхнева густина $m_s$ , г/м <sup>2</sup>	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
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 4.7

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 $\ell$ , мм		кількість пет. стовпчиків, $N_c$		кількість пет. рядів, $N_p$		товщина $M$ , мм		поверхнева густина $m_s$ , г/м <sup>2</sup>	
	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$	$pE$	$pA$
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

На етапі проєктування трикотажу з сировини підвищеної міцності з прогнозованими фізико-механічними характеристиками важливо розуміти як впливає процес в'язання та вид сировини на формоутворення петель. Як зазначалося у розділі 2, дослідні зразки трикотажних матеріалів нами вироблені на двох різних типах плосков'язального обладнання 8 класу з платинами та без, одинарним кулірним переплетенням гладь з двох видів високоміцних ниток: високомолекулярних поліетиленових ( $pE$ ) та пара-арамідних ( $pA$ ).

Шляхом реалізації активного експерименту [9] у ході дослідження нами одержано адекватні регресійні математичні залежності, що описують вплив збільшення глибини кулірування у заданому діапазоні на досліджувані параметри петельної структури розроблених зразків трикотажних матеріалів для захисту від дії механічних ушкоджень. На рис.4.11 – рис.4.15 наведено графіки залежності відповідних параметрів структури від зміни щільності в'язання та одержані лінійні однофакторні регресійні математичні залежності (таблиця 4.8), на основі яких їх побудовано. Представлені графіки наглядно ілюструють лінійний характер залежностей та відхилення даних, отриманих теоретичним шляхом від експериментальних.



Таблиця 4.8

Регресійні залежності, що описують  
вплив щільності в'язання на параметри структури трикотажу

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	поліетиленової нитки, $pE$	пара-арамідної нитки, $pA$
тип плосков'язального обладнання: ПВРК		
Довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	$\ell = 3,49 + 1,52 * h_k$	$\ell = 2,68 + 1,7 * h_k$
Поверхнева густина $ms$ , $г/м^2$	$ms = 579,45 - 73,62 * h_k$	$ms = 562,18 - 71,60 * h_k$
Товщина трикотажу $M$ , мм	$M = 1,36 - 0,07 * h_k$	$M = 1,35 - 0,147 * h_k$
Кількість петельних стовпчиків, $N_c$	$N_c = 76,50 - 8,56 * h_k$	$N_c = 74,29 - 9,50 * h_k$
Кількість петельних рядів, $N_p$	$N_p = 84,36 - 9,39 * h_k$	$N_p = 86,67 - 8,17 * h_k$
тип плосков'язального обладнання: РА		
Довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	$\ell = 1,74 + 1,92 * h_k$	$\ell = 2,70 + 1,65 * h_k$
Поверхнева густина $ms$ , $г/м^2$	$ms = 6005,11 - 2955,91 * h_k + 386,86 * h_k^2$	$ms = 511,17 - 59,16 * h_k$
Товщина трикотажу $M$ , мм	$M = 1,06 + 0,09 * h_k$	$M = 0,55 + 0,12 * h_k$
Кількість петельних стовпчиків, $N_c$	$N_c = 24,75 + 3 * h_k$	$N_c = 55,96 - 4,3 * h_k$
Кількість петельних рядів, $N_p$	$N_p = 191,21 - 32,1 * h_k$	$N_p = 142,0 - 22,85 * h_k$

Нами виявлено, що збільшення глибини кулірування в обраному діапазоні напряму впливає на збільшення довжини нитки в петлі (рис.4.11) трикотажного матеріалу виготовленого на обладнанні без платин типу ПВРК з поліетиленових ниток на 7,1%, з пара-арамідних ниток на 7,8%. На обладнанні з платинами типу РА довжина нитки в петлі збільшилася для поліетиленових ниток на 8,7%, з пара-арамідних – на 8,2%.

Зміна сировини в межах одного типу плосков'язального обладнання призвела до зменшення довжини нитки в петлі з пара-арамідних ниток, так на ПВРК – 5,14% (рис.4.11 а, в) на РА – 3,4% (рис.4.11 б, г).

Встановлено що на обладнанні без платини типу ПВРК можна досягнути більшої щільності матеріалу що відображено в довжині нитки в петлі, так при зміні в'язального обладнання на РА довжина нитки в петлі збільшилася для поліетиленових ниток на 2,6% (рис.4.11 а, б), для пара-арамідних на 4,5% (рис.4.11 в, г).

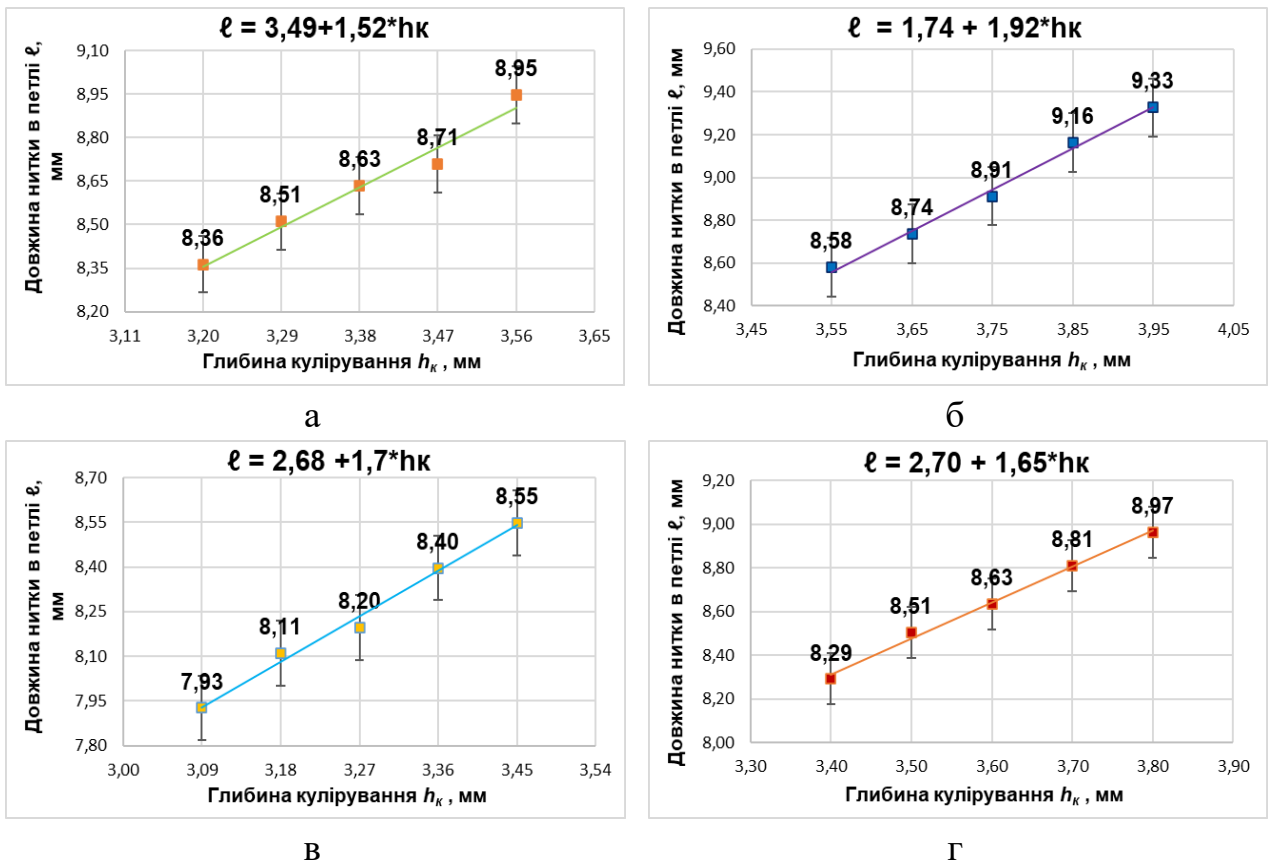
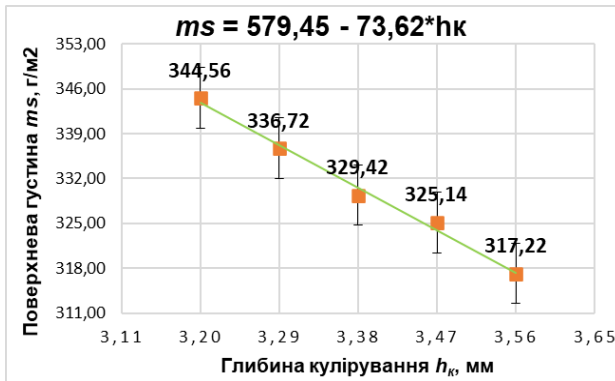
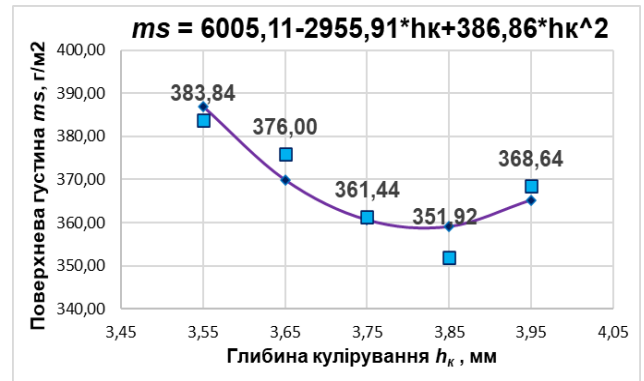


Рис.4.11 Довжина нитки в петлі трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу *PA*: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

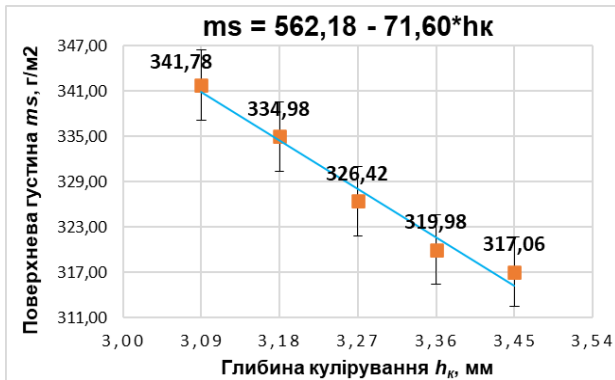
Різний характер впливу на поверхневу густину спостерігаємо у випадку вироблення трикотажного матеріалу з *UHMWPE* ниток (рис. 4.12 а, б). У разі вироблення трикотажу на машині типу *PA* з високомолекулярного поліетилену вплив зміни глибини кулірування на поверхневу густину описується моделлю другого порядку у вигляді параболи (рис.4.12 б), де найменшу величину поверхневої густини зафіксовано при  $h_k=3.85$ , після досягнення якої у подальшому зі зменшенням на 8,3% до  $h_k=3.95$  зростає на 4,8%. Це пояснюється властивостями високомолекулярної поліетиленової нитки та залученням до процесу формування петель платин. У випадку вироблення трикотажу на машині без платин типу ПВРК з *UHMWPE* ниток зберігається лінійний характер впливу зміни глибини кулірування на його поверхневу густину, а саме збільшення глибини кулірування у заданому діапазоні призводить до зменшення поверхневої густини на 7,93%.



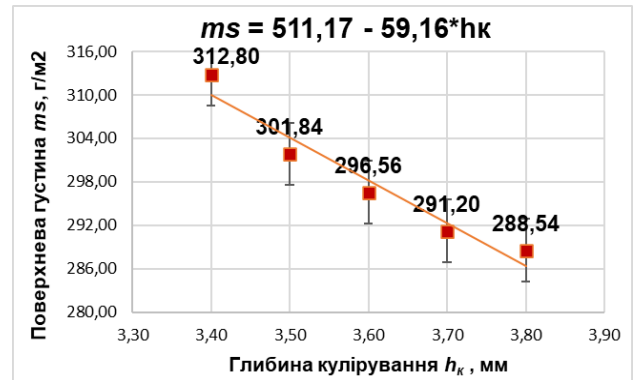
а



б



в



г

Рис.4.12 Поверхнева густина 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

Регресійні залежності, що описують вплив зміни глибини кулірування дослідних зразків трикотажного матеріалу з *pA* нитки на їх поверхневу густину (рис. 4.12 в, г) мають лінійний характер. При цьому в обох випадках збільшення глибини кулірування призводить до зменшення маси метра квадратного, що обумовлено зменшенням щільності в'язання. Зокрема, у випадку вироблення на машині без платин типу ПВРК на 7,23%, на машині з платинами типу РА – на 7,75%.

На рис. 4.13 представлено графіки залежності товщини трикотажного матеріалу від щільності в'язання для кожного типу обладнання та виду високоміцних ниток.

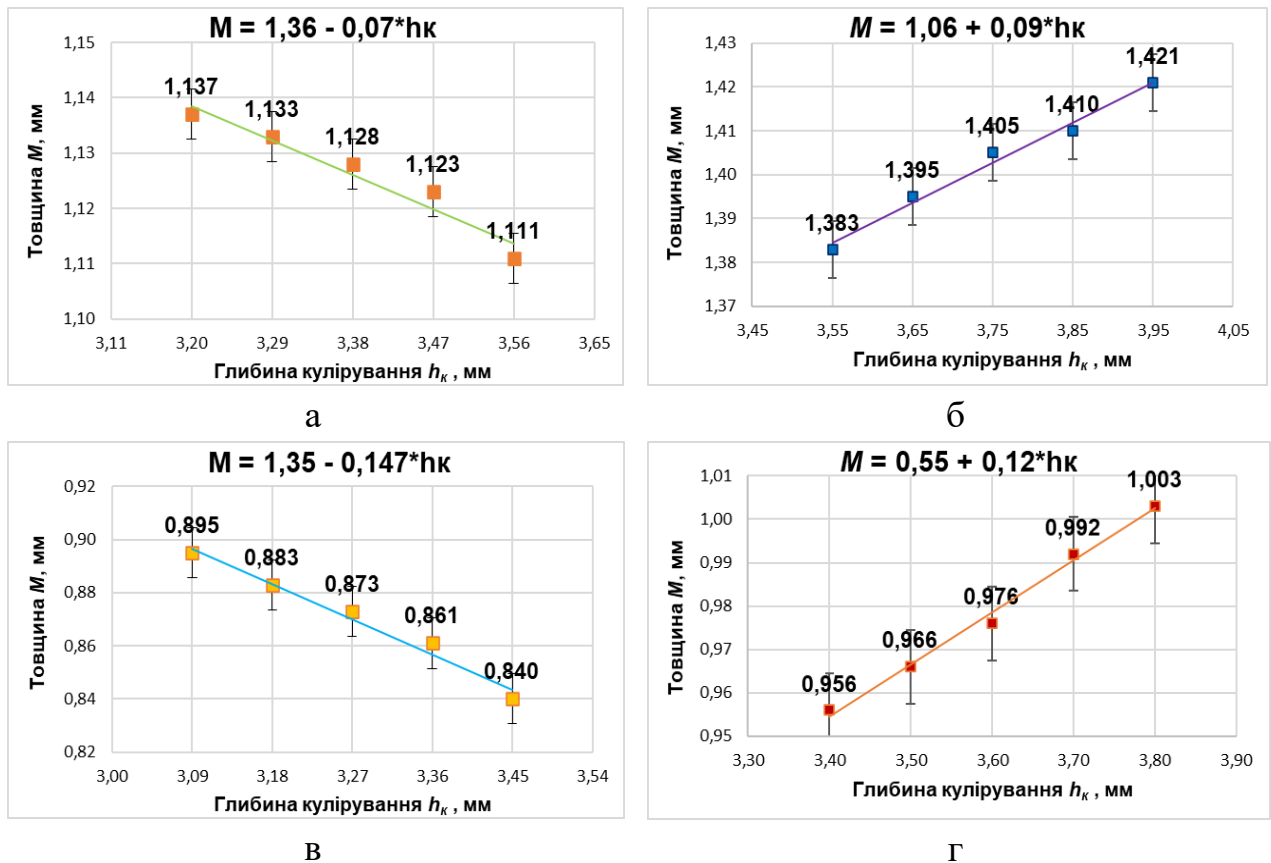


Рис.4.13 Товщина трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу *PA*: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

У ході проведених досліджень нами виявлено різний характер впливу зміни щільності в'язання на товщину трикотажного матеріалу у випадку використання в'язального обладнання з платинами (рипу ПВРК) та з платинами (типу *PA*). У випадку вироблення трикотажного матеріалу на машині без платин зі збільшенням глибини кулірування у заданому діапазоні товщина зменшується, а саме у разі використання *UHMWPE* нитки на 2,37%, у разі *pA* нитки – на 6,15%. Слід також звернути увагу, що незважаючи на однакову лінійну густину обраних видів високоміцних ниток у випадку використання *UHMWPE* нитки досягаємо більшої товщини трикотажного матеріалу, що обумовлено різницею у величині їх об'ємної маси (більша об'ємна маса та менша густина речовини *UHMWPE* нитки призводять до більшої її товщини за умови однакової лінійної густини з *pA* ниткою), а відповідно і більшим поверхневим та об'ємним заповненням трикотажу з *UHMWPE* нитки.

Як вже зазначалося, збільшення глибини кулірування на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА) призводить до збільшення товщини трикотажного матеріалу, виробленого з *UHMWPE* ниток на 2,7% та у випадку *pA* – на 4,9%. Така відмінність у характері впливу пояснюється типом в'язального обладнання, а саме наявністю платин, які у процесі вироблення трикотажу формують задану величину платинної дуги, на відміну від машини ПВРК, де внаслідок загального зусилля відтягування відбувається перерозподіл нитки з платинних дуг у палички. При цьому чим щільніша структура, тим менший прояв пружних властивостей ниток для перерозподілу нитки з паличок у дуги петель після зняття трикотажного матеріалу з машини.

На рис.4.14 представлено графіки залежності кількості петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу від зміни глибини кулірування для кожного типу обладнання та виду високоміцних ниток.

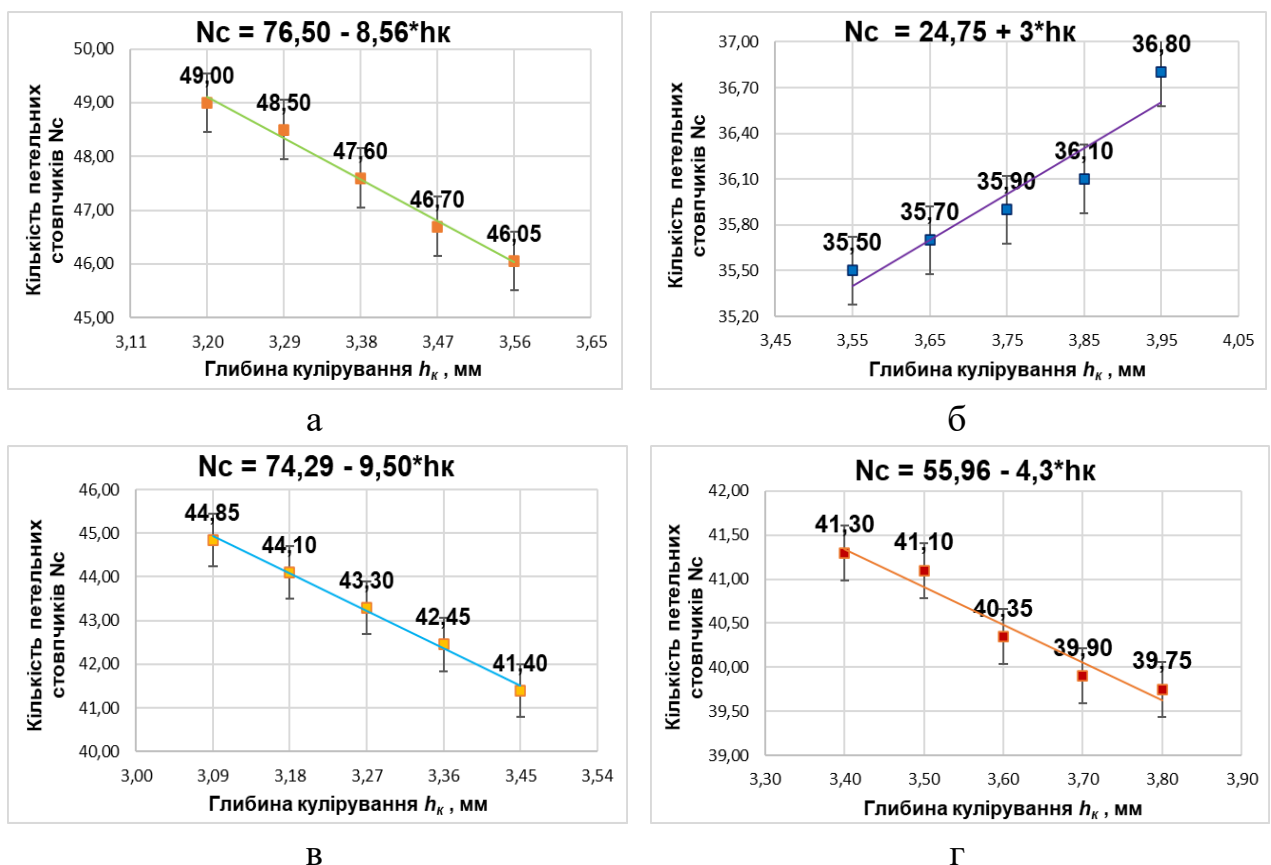
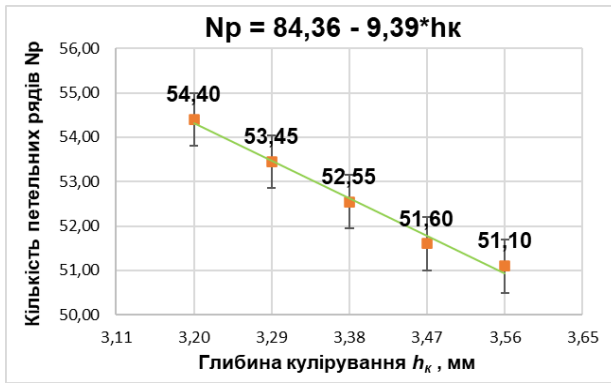


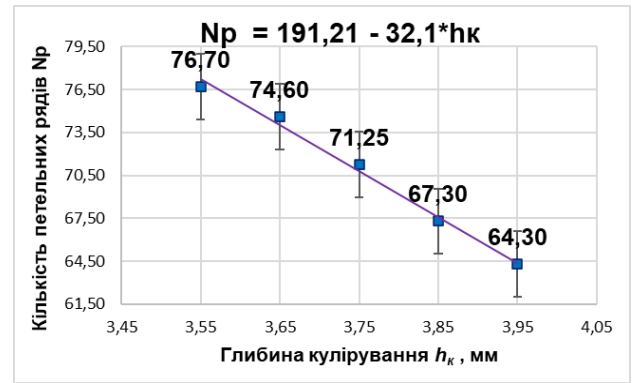
Рис.4.14 Кількість петельних стовпчиків трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

У ході досліджень зазначеного параметра структури трикотажного матеріалу виявлено, що у разі вироблення трикотажного матеріалу з *UHMWPE* ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу *PA*) щільність по горизонталі зростає зі збільшенням глибини кулірування. Збільшення показника щільності по горизонталі зі зменшенням щільності в'язання внаслідок збільшення довжини нитки в петлі в структурі трикотажного матеріалу з поліетиленових ниток обумовлено проявом пружних властивостей даного виду сировини та зміною геометрії осьової лінії нитки в петлі в області голкових та платинних дуг. Під час формування петель довжина відрізка нитки, що припадає на ділянки голкової та платинної дуг обумовлена робочими розмірами тих ділянок голки та платини, які задіяні під час згинання нитки в петлю. Фіксація петлі від підйому разом з голкою відбувається в області платинних дуг за допомогою горловин платин. Саме цей факт обумовлює сталу величину відрізка нитки в області платинної дуги. При цьому збільшення довжини нитки в петлі та зосереджене на платинних дугах зусилля відтягування й властивості високомолекулярної поліетиленової нитки призводять до збільшення довжини паличок петель та зменшення ширини петель.

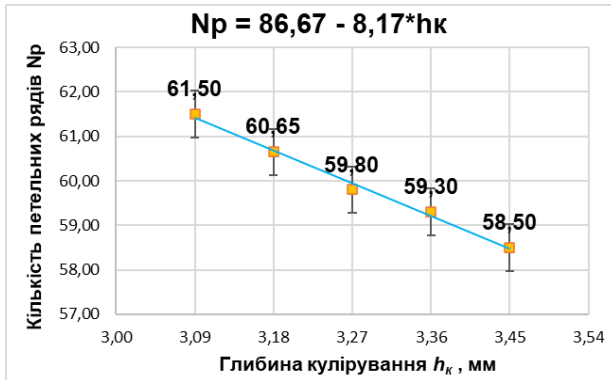
У випадку вироблення трикотажу на в'язальному обладнанні без участі платин (типу ПВРК) збільшення глибини кулірування призводить до зменшення щільності по горизонталі, а саме: у разі використання *UHMWPE* ниток на 4,77%, у разі *pA* – на 7,69% (рис. 4.14 а, в). Різний рівень щільності по горизонталі зразків, вироблених з *UHMWPE* та *pA* ниток, як вже зазначалося у розділі 3, обумовлений зигзагоподібною будовою петель у петельному стовпчику суміжних петельних рядів в структурі трикотажного матеріалу з *pA* ниток.



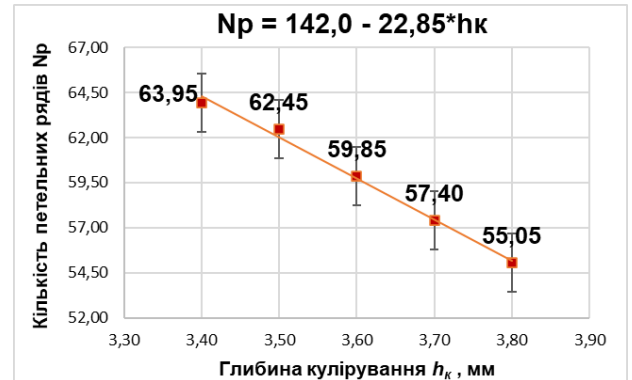
а



б



в



г

Рис.4.15 Кількість петельних рядів трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу *PA*: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Збільшення глибини кулірування у заданому діапазоні, зазначеному у розділі 2, призводить до зменшення кількості петельних рядів у 100 мм трикотажу у випадку вироблення на машині типу ПВРК на 6,1% та 4,9% відповідно у разі використання відповідно *UHMWPE* та *pA* ниток (рис. 4.15 а, в), а у разі вироблення на машині типу *PA* та використання *UHMWPE* та *pA* ниток – на 16,17 та 13,99% відповідно (рис. 4.15 б, г).

У ході досліджень виявлено, що на показник кількості петельних рядів у 100 мм трикотажу впливає як вид високоміцних ниток, так і тип плосков'язального обладнання, а саме участь у процесі формування петель платин. Саме платини своїми горловинами утримують і стару, і нову петлю та не дають можливості *pA* проявити свої пружні властивості унаслідок жорсткості на згин та сформувані зигзагоподібну будову петель у петельному стовпчику суміжних петельних рядів.

#### **4.4 Дослідження впливу технологічних засад виготовлення трикотажних матеріалів з високоміцних ниток на їх механічні характеристики**

##### **4.4.1 Дослідження розривального навантаження та видовження розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток**

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.

Згідно зі стандартизованою методикою [10], описаної у розділі 2, з використанням розривної машини електронного типу визначено розривальні характеристики дослідних зразків трикотажних матеріалів. Фото з характером деформації та руйнування дослідних зразків трикотажних матеріалів у напрямку петельних рядів на рис.4.16 та у напрямку стовпчиків – на рис.4.17.

З використанням одержаних на двох типах плосков'язального обладнання з платинами та без зразків трикотажних матеріалів, 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 таблицях 4.9 – 4.12.



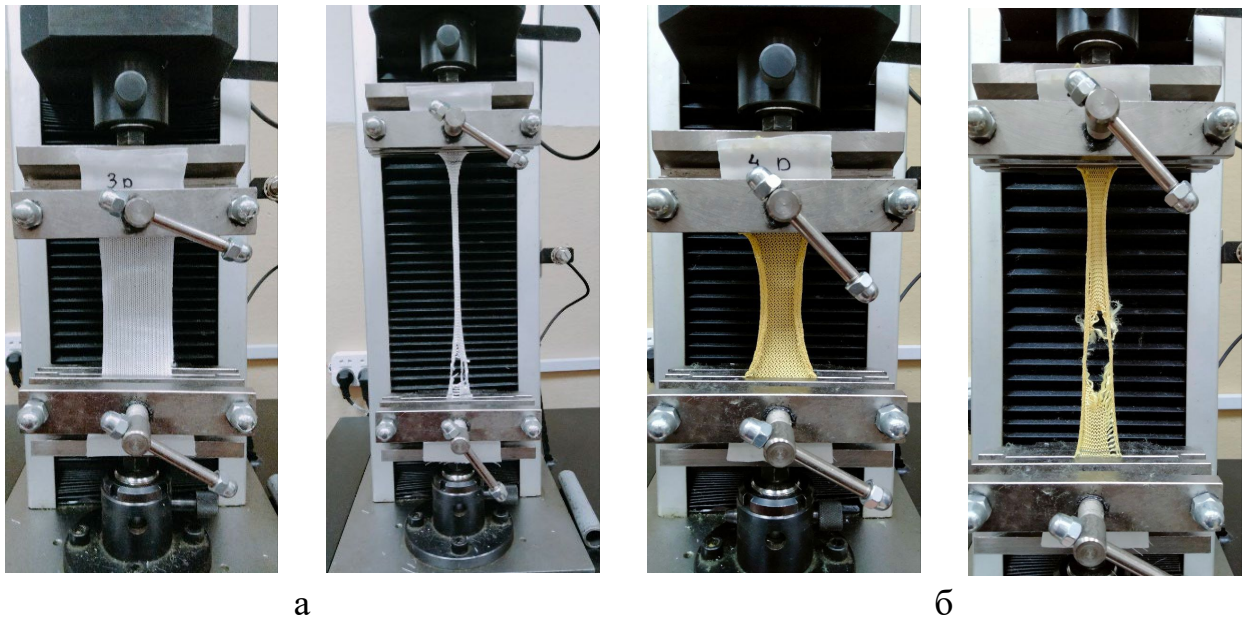


Рис.4.16 Фото дослідних зразків трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА), у затискачах розривної машини WDW-5ES у початковий момент та у момент руйнування проби у напрямку петельних стовпчиків: а) з *UHMWPE* (pE) нитки; б) з pA нитки

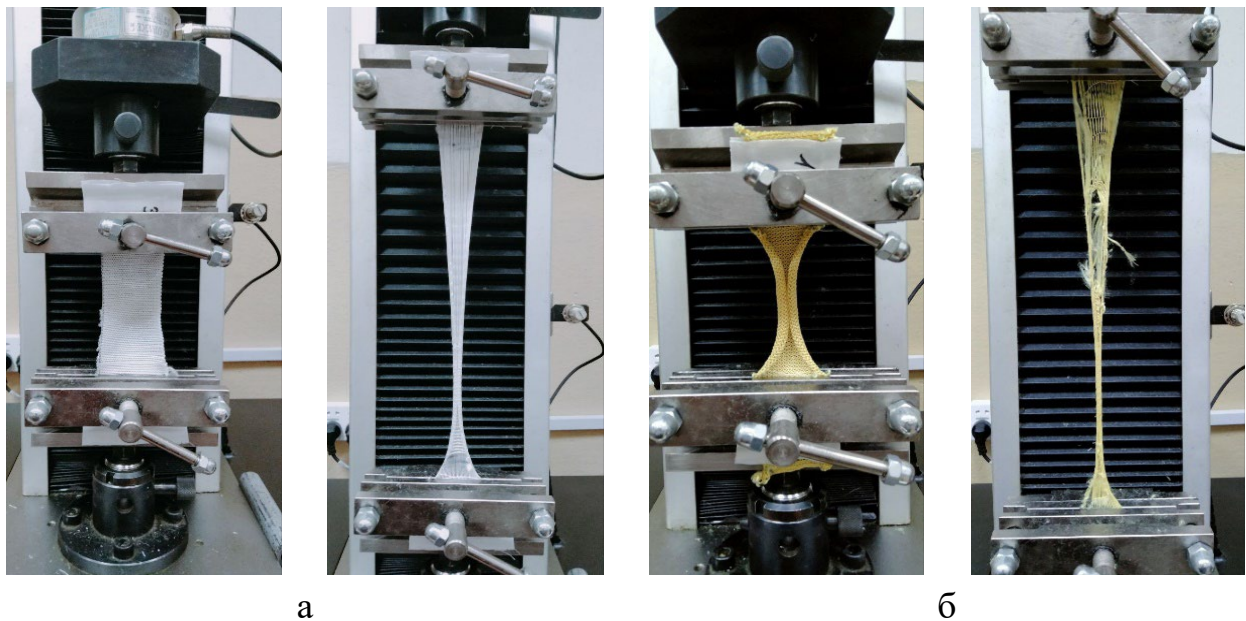


Рис.4.17 Фото дослідних зразків трикотажних матеріалів, вироблених на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА), у затискачах розривної машини WDW-5ES у початковий момент та у момент руйнування проби у напрямку петельних рядів: а) з *UHMWPE* (pE) нитки; б) з pA нитки

З використанням одержаних на двох типах плосков'язального обладнання з платинами та без зразків трикотажних матеріалів, 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 таблицях 4.9 – 4.12.

Таблиця 4.9

Розривальне навантаження дослідних зразків трикотажних матеріалів з плоскофангової машини 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 4.10

Розривальне видовження дослідних зразків трикотажних матеріалів з плоскофангової машини 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 4.11

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

№ 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 4.12

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

№ 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.4.18).

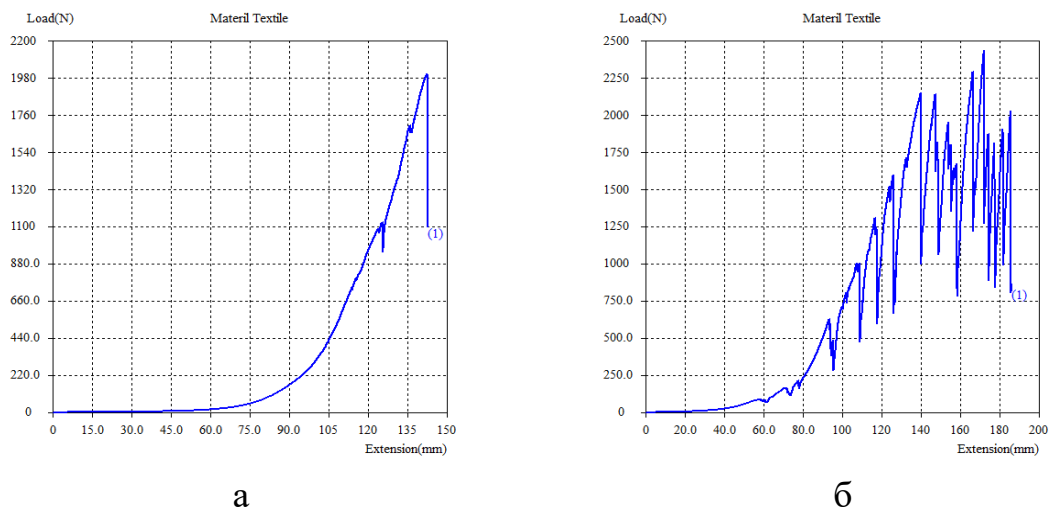


Рис.4.18 Приклад графіків розриву трикотажного матеріалу на машині WDW-5ES, виготовлених з *UHMWPE* нитки при мінімальному рівні глибини кулірування на плосков'язальному обладнанні з платинами (типу РА):  
 а) вздовж петельних стовпчиків; б) вздовж петельних рядів

Шляхом регресійного аналізу одержаних результатів випробувань (табл.4.13) встановлено математичні залежності, на підставі яких побудовано відповідні графіки. Графіки, наведені на рис.4.19 – рис.4.24 і наглядно ілюструють вплив щільності в'язання на величину розривального навантаження та видовження.

Таблиця 4.13

Регресійні залежності, що описують вплив щільності в'язання на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії розривального зусилля

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	поліетиленової нитки, $\rho_E$	пара-арамідної нитки, $\rho_A$
тип плосков'язального обладнання: ПВРК		
Розривальне навантаження по довжині $F_{m_d}$ , Н	$F_{m_d} = 2405,62 \cdot h_k - 5076,74$	$F_{m_d} = 363,62 + 682,20 \cdot h_k$
Розривальне видовження по довжині $L_d$ , %	$L_d = 28,96 \cdot h_k - 20,10$	$L_d = 55,34 + 11,04 \cdot h_k$
Розривальне навантаження по ширині $F_{m_c}$ , Н	$F_{m_c} = 3629,83 - 529,64 \cdot h_k$	$F_{m_c} = 3021,68 - 518,07 \cdot h_k$
Розривальне видовження по ширині, $L_c$ %	$L_c = 405,81 - 42,96 \cdot h_k$	$L_c = 421,85 - 70,62 \cdot h_k$
тип плосков'язального обладнання: РА		
Розривальне навантаження по довжині $F_{m_d}$ , Н	$F_{m_d} = 988,0 \cdot h_k - 1479,64$	$F_{m_d} = 122,93 + 578,74 \cdot h_k$
Розривальне видовження по довжині $L_d$ , %	$L_d = 31,22 + 29,0 \cdot h_k$	$L_d = 62,60 + 12,56 \cdot h_k$
Розривальне навантаження по ширині $F_{m_c}$ , Н	$F_{m_c} = 4437,82 - 590,54 \cdot h_k$	$F_{m_c} = 2657,08 - 369,98 \cdot h_k$
Розривальне видовження по ширині, $L_c$ %	$L_c = 168,96 \cdot h_k - 441,43$	$L_c = 80,48 \cdot h_k - 83,82$

Як видно з графіків, наведених на рис.4.19, 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 поліетиленових ниток дозволяє досягнути кращих результатів міцності трикотажного матеріалу внаслідок дії розривального зусилля.

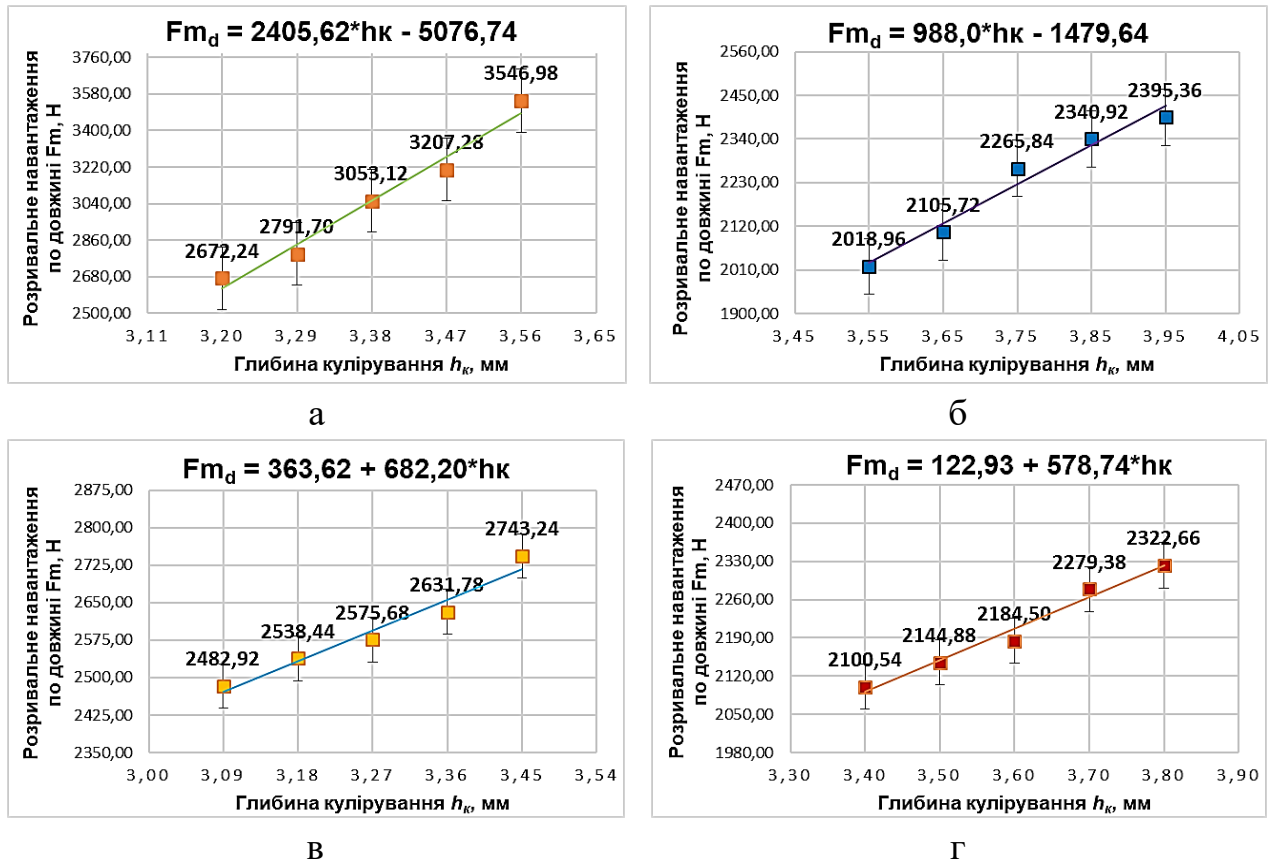


Рис.4.19 Розривальне навантаження вздовж петельних стовпчиків трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Зокрема, за умови мінімального рівня глибини кулірування, використання поліетиленових ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) дозволяє збільшити величину розривального навантаження на 7,62% порівняно зі зразками з пара-арамідних ниток (рис.4.19 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.4.19 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 поліетиленових ниток, зміна типу плосков'язального обладнання з ПВРК (без платин) на РА (з платинами) призводить до зменшення міцності трикотажного матеріалу на 24,45% *UHMWPE* (рис.4.19 а, б), *pA* ниток – на 15,4% (рис.4.19 в, г).

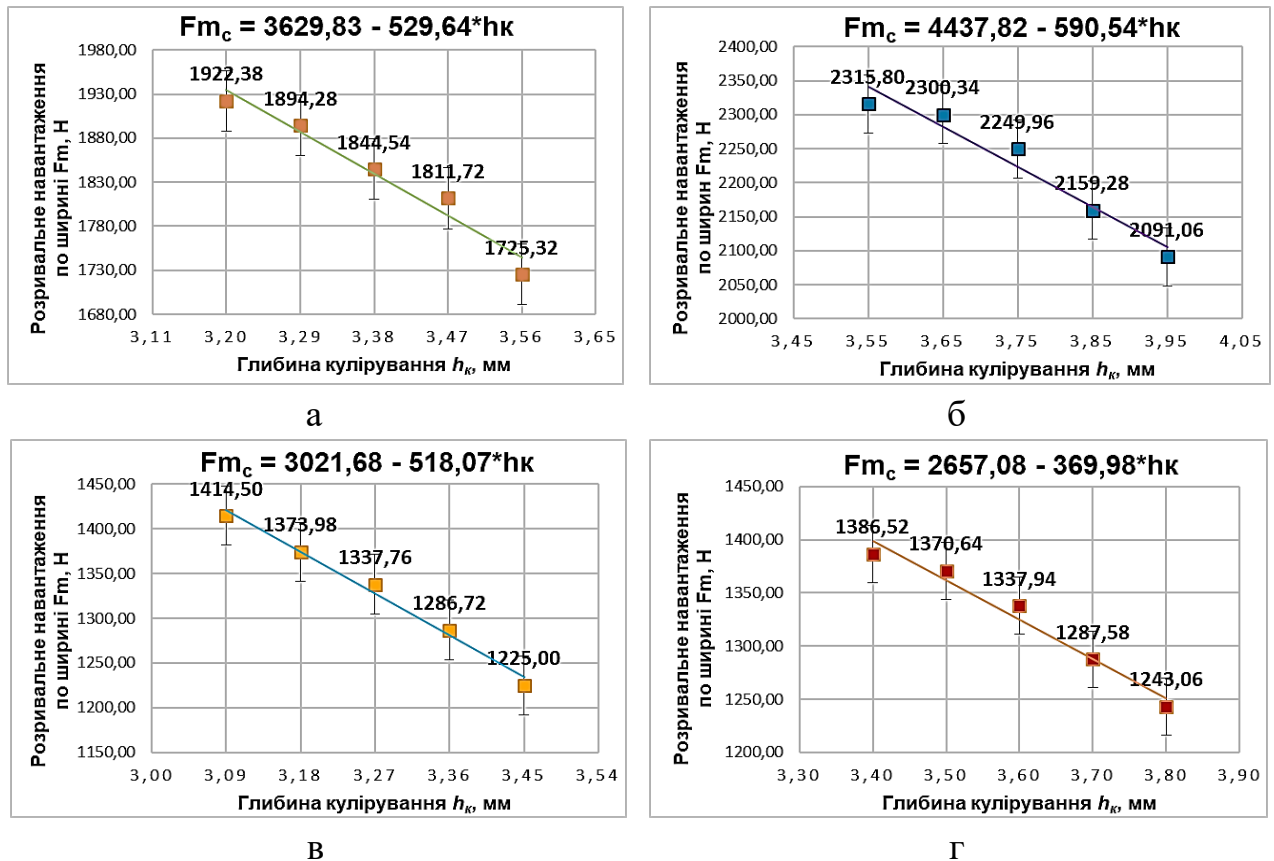


Рис.4.20 Розривальне навантаження вздовж петельних рядів трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

У разі прикладення розривального зусилля до трикотажного матеріалу вздовж лінії петельного ряду збільшення глибини кулірування при формуванні петель призводить до зменшення його міцності (рис.4.20), 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 трикотаажний матеріал з точками переплетень, а прямолінійні відрізки ниток.

Графіки, наведені на рис.4.20, наглядно ілюструють, що на величину розривального навантаження по ширині має вплив і вид високоміцних ниток, і тип плосков'язального обладнання. У разі використання поліетиленових ниток при мінімальній щільності в'язання використання плосков'язального обладнання з платинами дозволяє збільшити міцність на 84,4% (рис.4.20, а, б), у разі використання пара-арамідних ниток – лише на 17,87% (рис.4.20 в, г). Це обумовлено формуванням зигзагоподібної будови петель в петельних стовпчиках у разі використання плосков'язального обладнання без платин при виробленні трикотаажного матеріалу з пара-арамідних ниток.

За умови мінімального рівня глибини кулірування використання поліетиленових ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) дозволяє збільшити величину розривального навантаження по ширині на 35,91% порівняно зі зразками з пара-арамідними нитками (рис.4.20 а, в). У разі використання плосков'язального обладнання з платинами (типу РА) зміна виду високоміцних ниток з пара-араміду на поліетилен призводить до зростання величини розривального зусилля, яке витримує дослідний зразок трикотаажного матеріалу по ширині, на 67,02% (рис.4.20 б, г).

У ході дослідження впливу щільності в'язання на величину розривального видовження виявлено різний характер зміни у напрямку петельних стовпчиків рис.4.21 та рядів рис.4.22. Так у випадку досліджень проб вздовж петельних стовпчиків розривальне видовження зі збільшенням глибини кулірування при формуванні петель зростає (рис.4.21). А у випадку наряду 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.4.22 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.4.22 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.

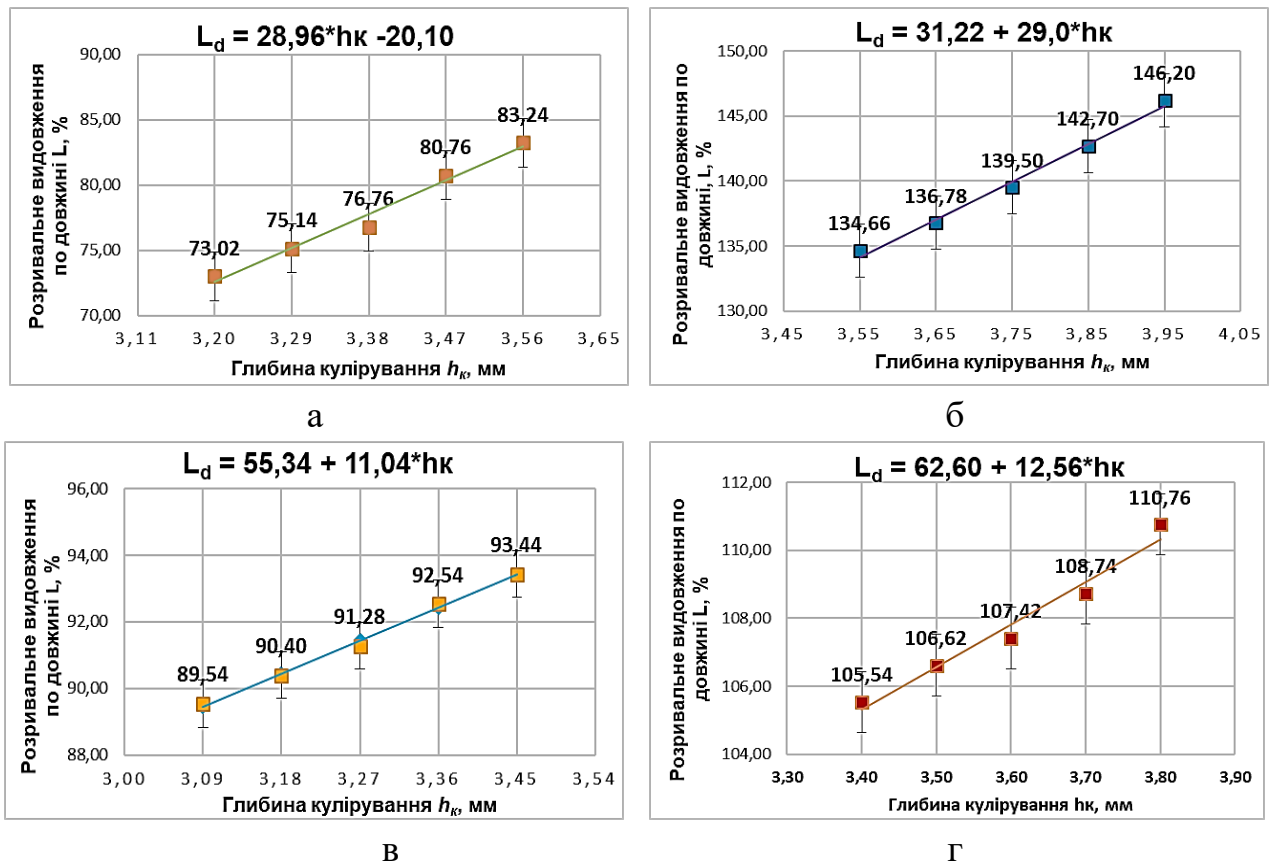


Рис.4.21 Розривальне видовження вздовж петельних стовпчиків трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу РА: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Як видно з графіків, наведених на рис.4.21 а та б, при використанні високомолекулярних поліетиленових 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 пара-арамідних ниток, зміна типу плосков'язального обладнання призводить до зростання розривального видовження по довжині лише на 17,87%

(рис.4.21 в, г), що обумовлено зигзагоподібною будовою петель в петельних стовпчиках трикотажного матеріалу з пара-арамідних ниток на машині без платин.

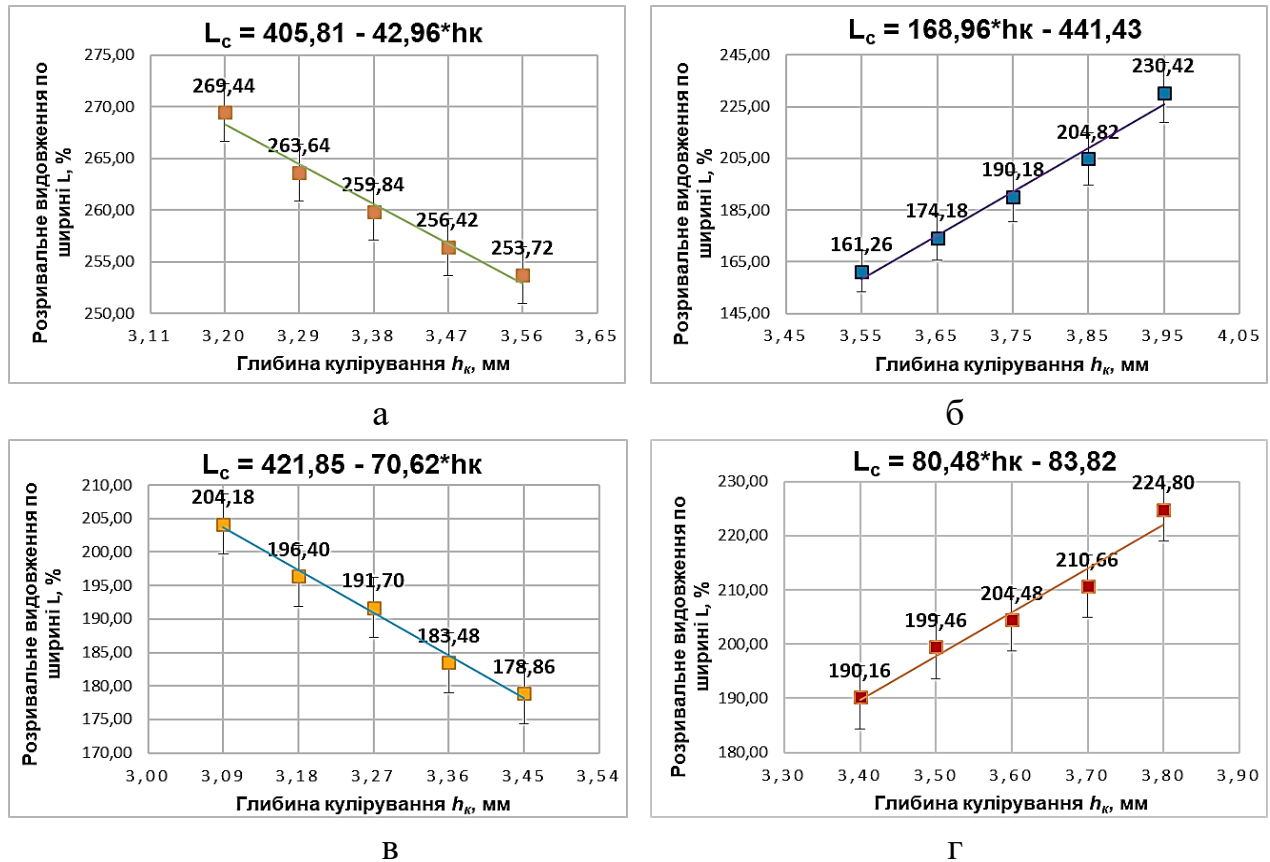


Рис.4.22 Розривальне видовження вздовж петельних рядів трикотажного матеріалу, виробленого на плосков'язальному обладнанні без платин типу ПВРК: а) з *UHMWPE* нитки; в) з *pA* нитки з платинами типу *PA*: б) з *UHMWPE* нитки; г) з *pA* нитки

Графіки, наведені на рис.4.22, 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 високомолекулярних поліетиленових ниток розривальне видовження по ширині зі зміною плосков'язального обладнання з ПВРК на *PA* за умови мінімальної глибини кулірування зменшується на 40,15% (рис.4.22 а, б), а у разі використання пара-арамідних ниток – на 6,87% (рис.4.22 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 поліетиленових ниток на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) дозволяє збільшити величину розривального видовження по ширині на 31,96% порівняно зі зразками з пара-арамідних ниток (рис.4.22 а, в). У разі використання плосков'язального обладнання з платинами (типу РА) зміна виду високоміцних ниток з пара-арамідних на поліетиленові навпаки призводить до зменшення величини розривального видовження дослідного зразка трикотажного матеріалу по ширині на 15,20% (рис.4.22 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.4.23 та рис.4.24 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 високоміцних 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.4.23 а, у заданому діапазоні зміни щільності в'язання, питоме розривальне навантаження на один петельний стовпчик для дослідних зразків, вироблених з поліетиленових 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 пара-арамідних ниток на машині типу ПВРК без платин зростає на 19,69, на машині типу РА з платинами – на 14,88% (рис.4.23 в).

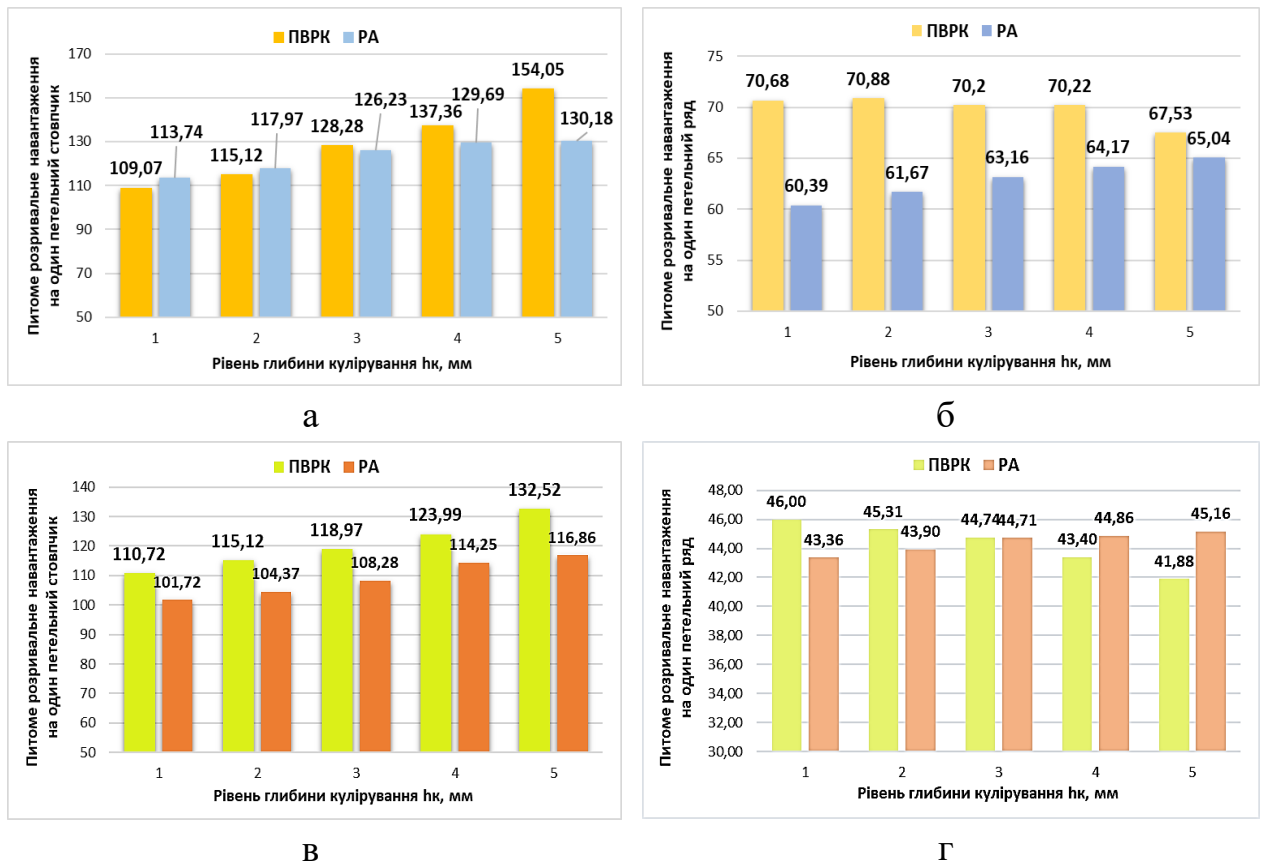


Рис.4.23 Діаграми величини питомого розривального навантаження:  
для зразків з *UHMWPE* нитки:

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

Аналіз зміни величини питомого розривального навантаження на один петельний ряд у заданому діапазоні зміни щільності в'язання дозволив з'ясувати, що у випадку використання поліетиленових 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.4.23 б). У випадку використання пара-арамідних 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.4.23 г).

Як видно з діаграм, наведених на рис.4.24, 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 поліетиленових ниток у 2,55 рази, у випадку пара-арамідних ниток – у 1,28 рази (рис.4.24 а, в). Тобто різниця зменшується.

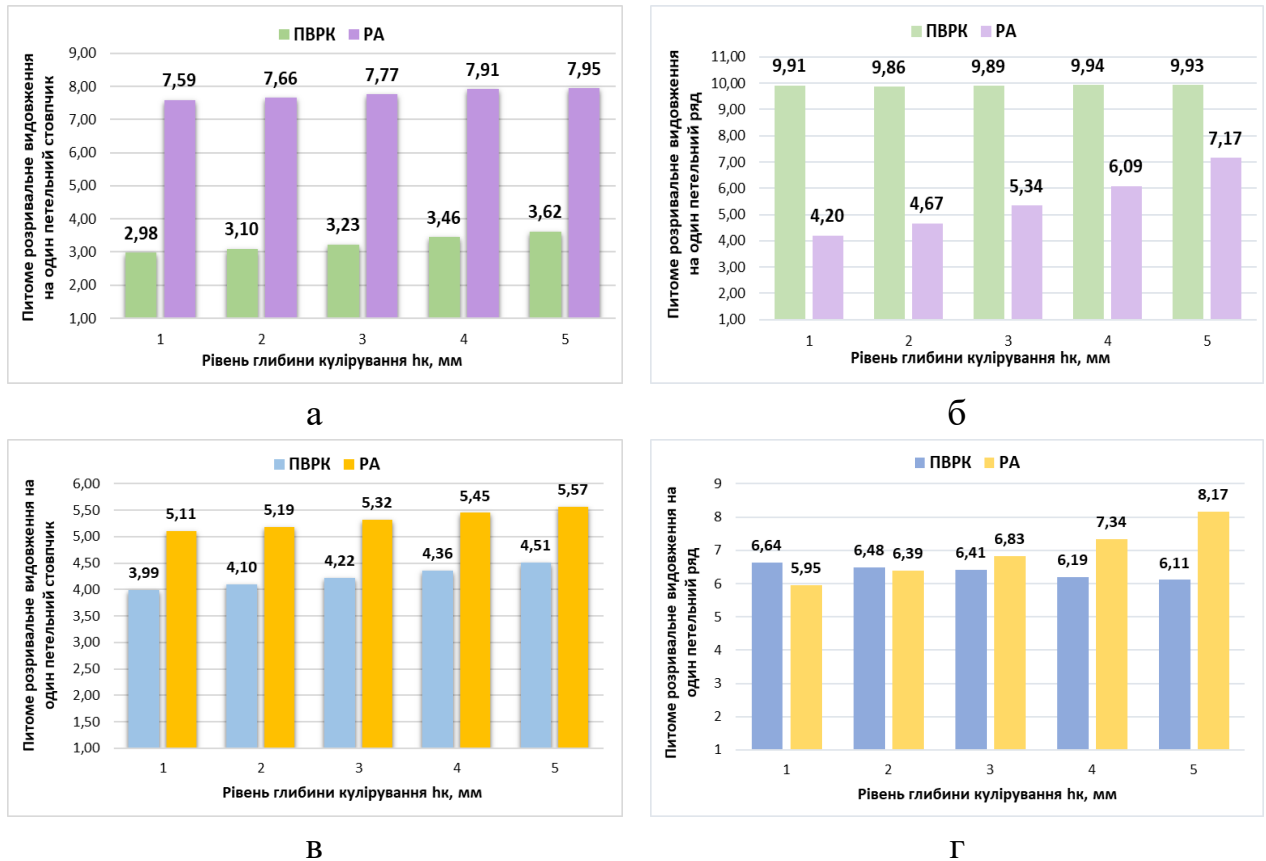


Рис.4.24 Діаграми величини питомого розривального видовження:

для зразків з *UHMWPE* нитки:

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 поліетиленових 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 пара-арамідних ниток – до зменшення у 1,12 разів (рис.4.24 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.

#### 4.4.2 Дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток до продавлювання кулькою

У відповідності [11, 12] 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.

У ході виконання досліджень продавлювання кулькою на розривній машині WDW-5ES нами одержано графіки деформації моменту руйнування трикотажного матеріалу які наведені на рис.4.25 вироблених при мінімальному рівні глибини кулірування.

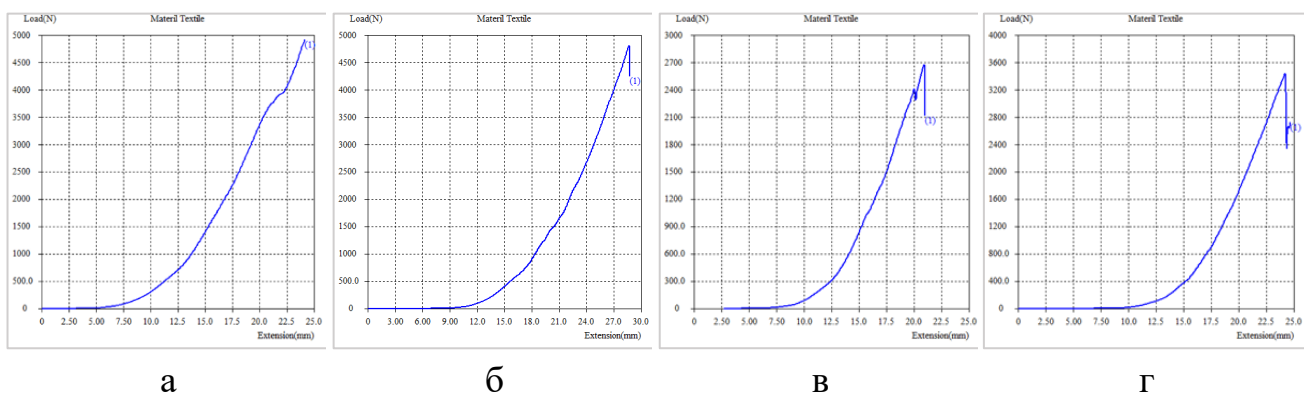


Рис.4.25 Графіки опору продавлюванню кулькою трикотажних матеріалів, виготовлених при мінімальному рівні глибини кулірування:  
з UHMWPE нитки: а) без платин (типу ПБРК); б) з платинами (типу РА);  
з pA нитки: в) без платин (типу ПБРК); г) з платинами (типу РА)

Нами виявлено, що на момент досягнення максимально можливого на розривній машині моделі WDW-5ES зусилля навантаження (5000 Н) структура зразка, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток на

обладнанні без платин типу ПВРК при максимальній щільності в'язання не зруйнувалася (рис.4.25 а). Усі інші дослідні зразки досягнули моменту руйнування структури внаслідок прикладеного відповідного зусилля продавлювання кулькою.

Під час проведення дослідження, нами здійснено фото моменту продавлювання кулькою трикотажного матеріалу (рис.4.26), які наглядно ілюструють характер руйнування проби у випадку використання високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток. Як видно з рис.4.26 внаслідок зусилля продавлювання, кулька пройшовши наскрізь, зруйнувавши структуру зразка з поліетиленової нитки, а у випадку використання пара-арамідної нитки відбулося руйнування нитки однієї петлі, що спричинило розпуск петель в петельних стовпчиках під дією зусилля кульки.



Рис.4.26 Фото моменту продавлювання кулькою трикотажних матеріалів, вироблених на РА

Одержані нами характеристики опору продавлюванню кулькою досліджуваних зразків трикотажних матеріалів з поліетиленових (pE) та пара-арамідних (pA) ниток для кожного з типів в'язального обладнання (з платинами та без) та рівня щільності в'язання зведено у таблиці 4.14.

З одержаних результатів встановлено регресійні залежності [9], що описують вплив щільності в'язання на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії механічних ушкоджень продавлювання полотна кулькою представлено у таблиці 4.15.

Таблиця 4.14

Характеристики опору продавлюванню кулькою дослідних зразків  
трикотажних матеріалів

№ зра-зка	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	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
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

Таблиця 4.15

Регресійні залежності, що описують вплив щільності в'язання на  
характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії  
продавлювання кулькою

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	поліетиленової нитки, <i>pE</i>	пара-арамідної нитки, <i>pA</i>
тип плосков'язального обладнання: ПВРК		
Продавлювання кулькою $P_k$ , Н	більше 5 000	$P_k = -54834,89 + 35103,75 * h_k - 5289,07 * h_k^2$
тип плосков'язального обладнання: РА		
Продавлювання кулькою $P_k$ , Н	$P_k = -46071,26 + 28046,86 * h_k - 3866,71 * h_k^2$	$P_k = -6924,24 + 6115,88 * h_k - 895,29 * h_k^2$

Шляхом обробки експериментальних даних регресійного аналізу, одержаних результатів випробувань експериментальних даних щодо опору на продавлювання кулькою та величини деформації встановлено математичні розрахункові залежності другого порядку, на підставі яких побудовано відповідні графіки, наведені на рис.4.27. Як видно з графіків, представлених на



рис.4.27, характер руйнування проби описується моделлю другого порядку та має вигляд параболи. Дослідити величину зусилля руйнування зразків трикотажних матеріалів, виготовлених на обладнанні без платин (типу ПВРК) з поліетиленових ниток, стало неможливим через характеристики розривального обладнання. Шкала вимірювань розривної машини моделі WDW-5ES передбачає величину не більше 5000 Ньютон, а дослідні зразки не дійшли піку навантаження, внаслідок чого цей факт автоматично робить їх найстійкішими. Зразки, виготовлені з пара-арамідних ниток демонструють різке збільшення сили опору при 3 рівні глибини кулірування  $h_k=3,27$  мм, після чого відбувається спадання.

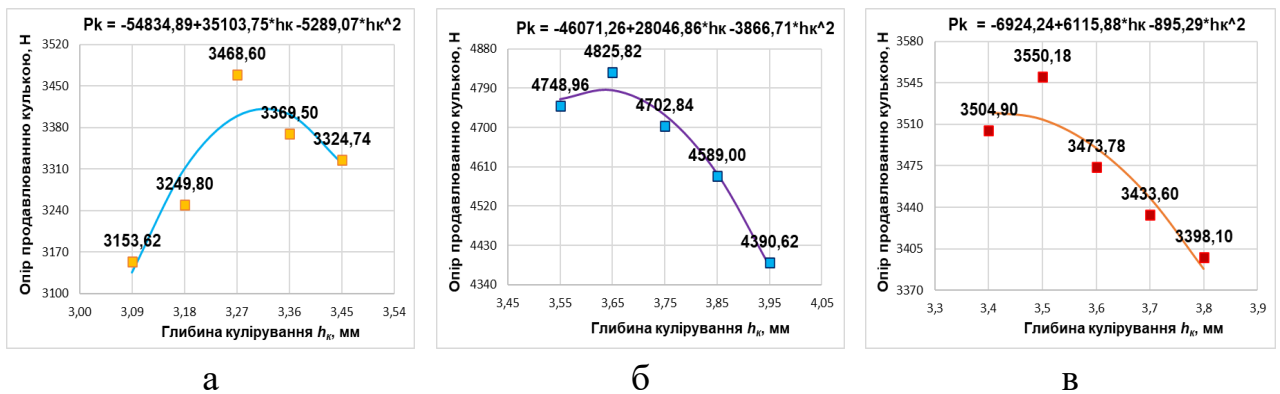


Рис.4.27 Графіки залежності величини зусилля продавлювання кулькою від зміни щільності в'язання:  
з UHMWPE нитки: а) з платинами РА;  
з рА нитки: б) без платин ПВРК; в) з платинами РА

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

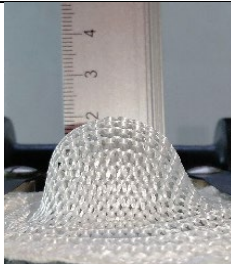
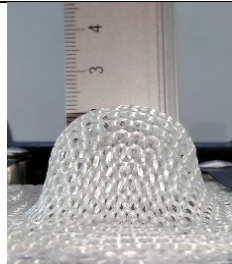


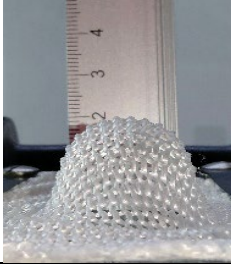
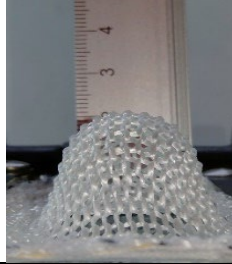

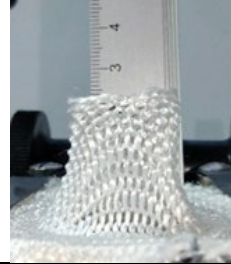
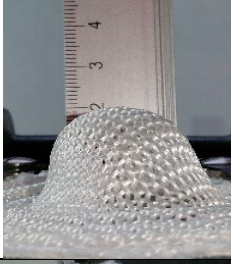




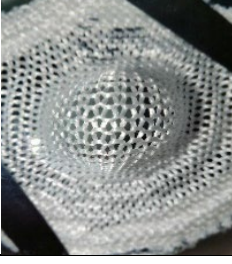
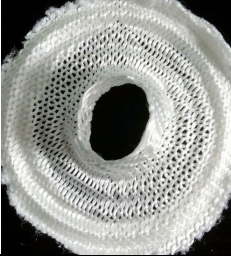
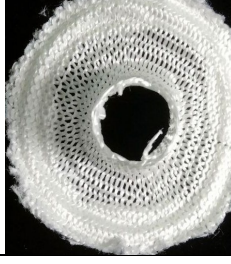
спостерігається при 2 рівні глибини кулірування незалежно від виду сировини, після чого зі зменшенням щільності в'язання відбувається зменшення стійкості петельної структури до зусилля продавлюванню кулькою. Подальше зменшення стійкості трикотажного матеріалу до продавлювання кулькою можна пояснити зменшенням 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 високомолекулярних поліетиленових ниток, одержані результати формують уявлення про характер деформації петель в структурі переплетення під дією зусилля продавлювання кулькою. У таблиці 4.16 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.

У таблиці 4.17 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 поліетиленових ниток спостерігається наскрізне руйнування проби під дією зусилля продавлювання кулькою, тоді як у зразках з пара-арамідних ниток руйнування деформованої під впливом сили продавлювання кульки трикотажної структури обумовлене руйнуванням нитки найбільш напруженої петлі та розпуском петель вздовж петельного стовпчика.

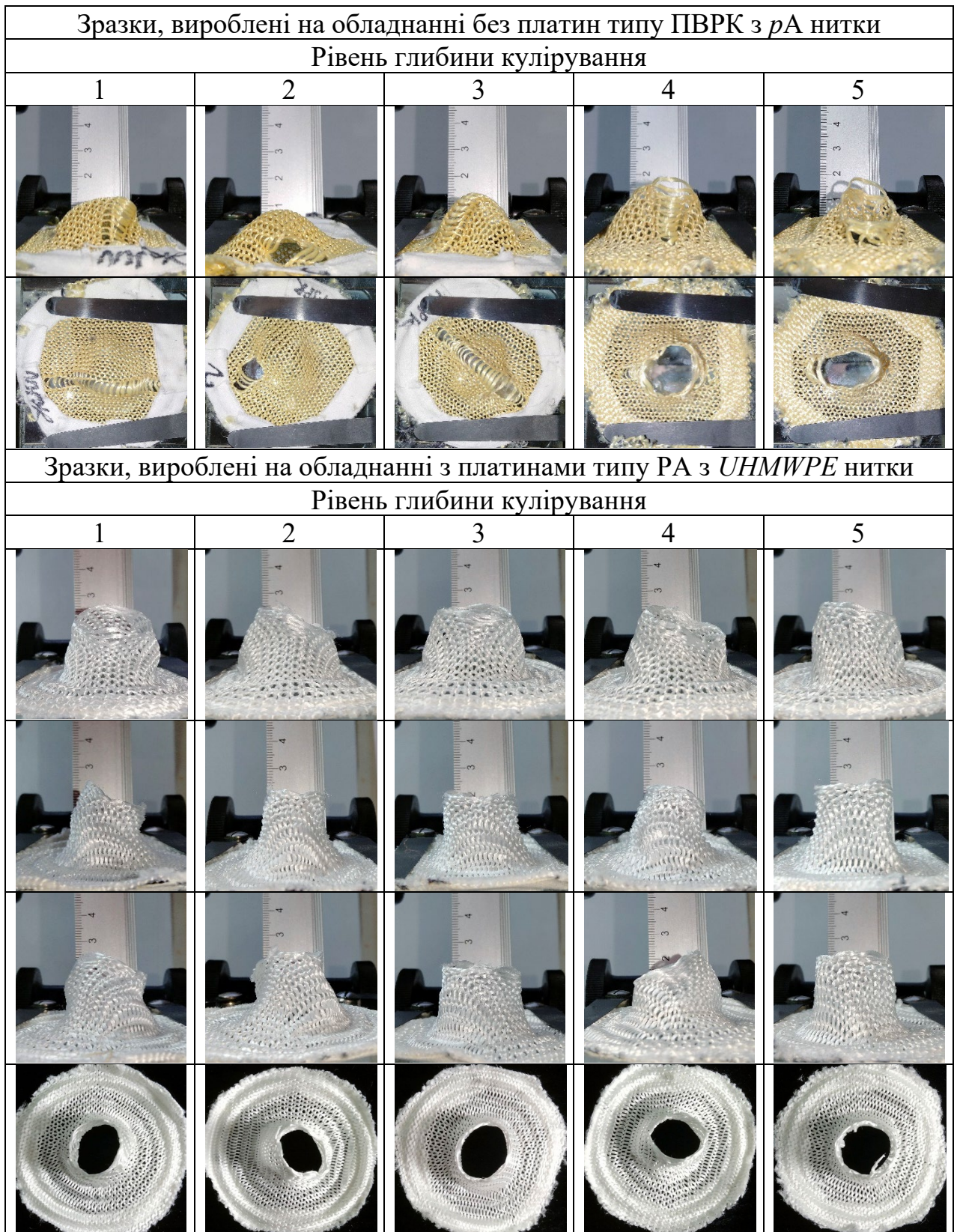
Таблиця 4.16

Характер деформації зразків трикотажних матеріалів під дією  
зусилля продавлювання кулькою

	Тип плосков'язального обладнання			
	без платин типу ПВРК		з платинами типу РА	
	з <i>UHMWPE</i> нитки			
	Рівень глибини кулірування			
	1	5	1	5
Вздовж петельних стовпчиків				
Вздовж петельних рядів				
По діагоналі				
Виворітна сторона				

Таблиця 4.17

Характер деформації зразків трикотажних матеріалів під дією  
зусилля продавлювання кулькою





На підставі встановлених значень величини деформації трикотажної структури під дією зусилля продавлювання кулькою побудовано відповідні графіки (рис.4.28).

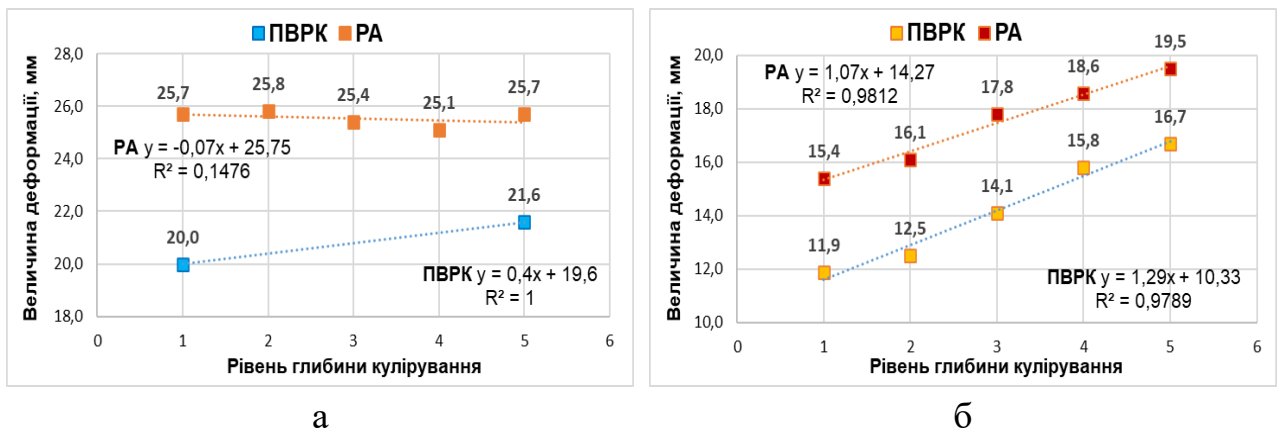


Рис.4.28 Величина деформації зразків під дією зусилля продавлювання кулькою:  
а) з UHMWPE нитки; б) з рА нитки

Виявлено, що у випадку використання поліетиленової нитки тип в'язального обладнання та щільність в'язання немає суттєвого впливу (рис.4.28 а). У разі виготовлення трикотажного матеріалу з пара-арамідних 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.4.28 б), що обумовлено фізико-механічними

властивостями та поведінкою пара-арамідних ниток в структурі трикотажу під дією зусилля продавлювання кулькою.

#### 4.4.3 Дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток до проколу стержнем

Дослідження опору проколу стержнем попередньо вироблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток на двох типах в'язального обладнання (з платинами та без) виконано згідно відповідної стандартизованої методики [13] в акредитованій лабораторії КНУТД АДВЛ «Текстиль-ТЕСТ». Згідно зі стандартизованою методикою описаної в розділі 2 з використанням розривної машини електронного типу визначено опір проколу стержнем дослідних зразків трикотажних матеріалів.

Графіки руйнування структури трикотажного матеріалу при мінімальному рівні глибини кулірування наведено на рис.4.29, за допомогою яких можна спостерігати процес руйнування дослідного зразка під дією перфоруючого зусилля.

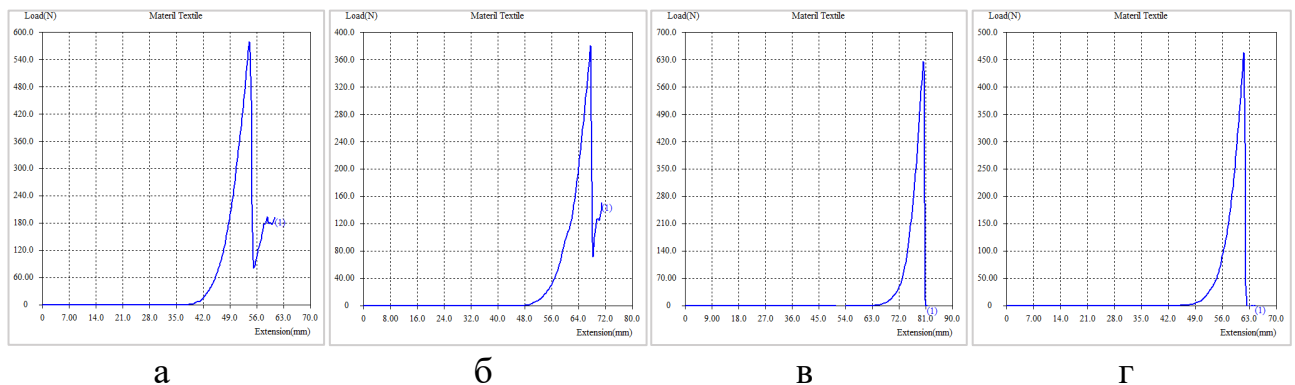


Рис.4.29 Графіки опору проколу стержнем трикотажних матеріалів, виготовлених при мінімальному рівні глибини кулірування:  
з UHMWPE нитки: а) без платин (типу ПБРК); б) з платинами (типу РА);  
з РА нитки: в) без платин (типу ПБРК); г) з платинами (типу РА)

Так, незважаючи на тип в'язального обладнання, діаграми «навантаження-видовження» зразків з високомолекулярних поліетиленових ниток після досягнення максимального опору мають стрибок напруги внаслідок руйнування витягнутого одинарного відрізка нитки (рис.4.29 а, б). При руйнуванні зразків з

пара-арамідних ниток (рис.4.29 в, г) стрибка напруги не спостерігається, що обумовлено характеристиками високоміцної сировини. Дану відмінність можна побачити на фотографіях, представлених на рис.4.30.



Рис.4.30 Фото моменту проколу стержнем трикотаажних матеріалів, на РА

Характеристики стійкості до проколу досліджуваних зразків трикотаажних матеріалів для кожного типу плосков'язального обладнання, виду високоміцної сировини та рівня глибини кулірування зведено у таблиці 4.18.

Таблиця 4.18

Характеристики опору проколу стержнем дослідних зразків  
трикотаажних 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	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
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

Встановлення регресійних залежностей [9], що описують вплив щільності в'язання на характеристики стійкості трикотаажного матеріалу до дії механічних ушкоджень проколу стержнем представлено у таблиці 4.19.

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.4.31).

Таблиця 4.19

Регресійні залежності, що описують вплив щільності в'язання на характеристики стійкості трикотажного матеріалу до дії проколу стержнем

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	поліетиленової нитки, $pE$	пара-арамідної нитки, $pA$
тип плосков'язального обладнання: ПВРК		
Прокол стержнем $P_s$ , Н	$P_s=1128,50-207,42 \cdot h_k$	$P_s=1583,36-336,53 \cdot h_k$
тип плосков'язального обладнання: РА		
Прокол стержнем $P_s$ , Н	$P_s=1175,26-225,02 \cdot h_k$	$P_s=1428,39-277,04 \cdot h_k$

Наведені на рис.4.31 графіки наглядно ілюструють, що зі зменшенням 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.



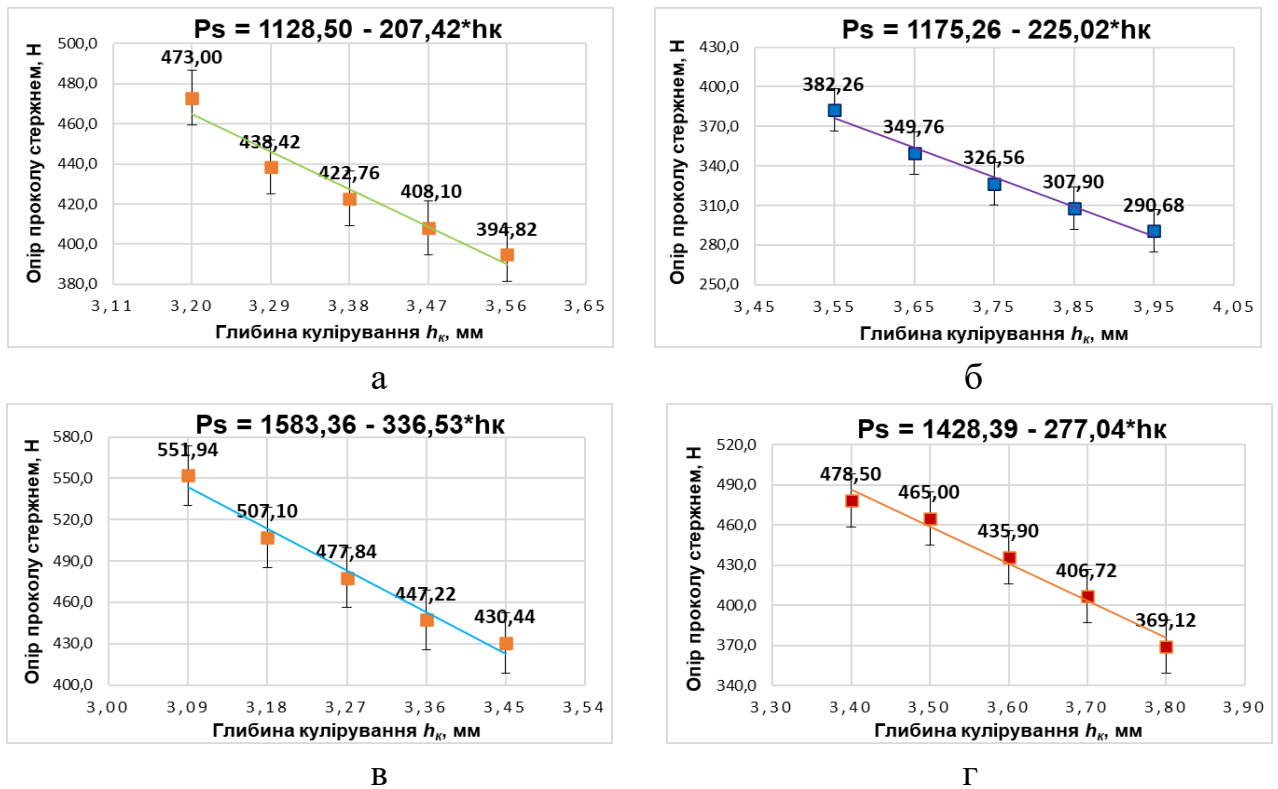


Рис.4.31 Графіки залежності зусилля проколу стержем від зміни щільності в'язання:

з UHMWPE нитки: а) без платин ПВРК; б) з платинами РА;  
з рА нитки: в) без платин ПВРК; г) з платинами РА

Зокрема, у випадку виготовлення трикотажу на плосков'язальному обладнанні без платин (типу ПВРК) при мінімальній глибині кулірування, зміна поліетиленових ниток на пара-арамідні призводить до збільшення опору на 14,3% (рис.4.31 а, в) завдяки фізико-механічним характеристикам сировини та зигзагоподібній будові петель [14]. У разі виготовлення трикотажного матеріалу на обладнанні з платинами (типу РА) зміна поліетиленових ниток на пара-арамідні призводить до збільшення опору проколу на 25,18% (рис.4.31 б, 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 поліетиленової нитки при порівнянні зразків найщільнішої структури на 19,18% (рис.4.31 а, б), у разі виготовлення трикотажу з пара-арамідної нитки – на 13,3% (рис.4.31 в, 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 посков'язальному обладнанні з платинами, де під дією платин фіксується стала величина між петлями в області платинних дуг, під впливом перфоруючого зусилля спочатку відбувається перерозподіл нитки з платинних дуг у палички остовів петель.

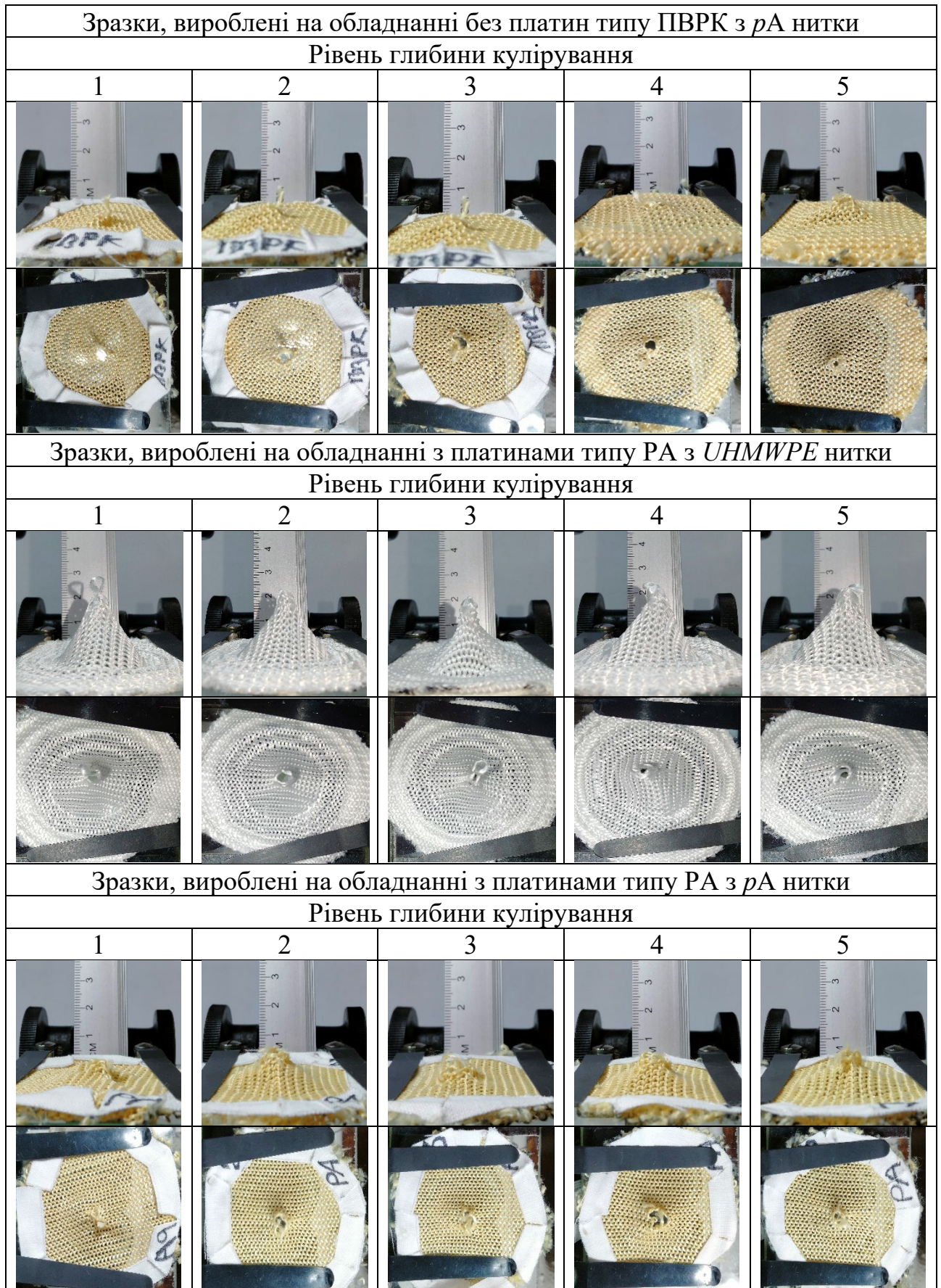
У ході досліджень опору трикотажного матеріалу проколу стержнем вивчено характер деформації та руйнування петельної структури під дією перфоруючого зусилля в залежності від виду високоміцних ниток та типу в'язального обладнання (табл. 4.19).

На підставі встановлених даних (табл. 4.19) побудовано графіки залежності величини деформації дослідних зразків під впливом перфоруючого зусилля стержня від щільності їх в'язання (рис.4.32).

Таблиця 4.19

Характер деформації трикотажного матеріалу під дією  
зусилля проколу стержнем





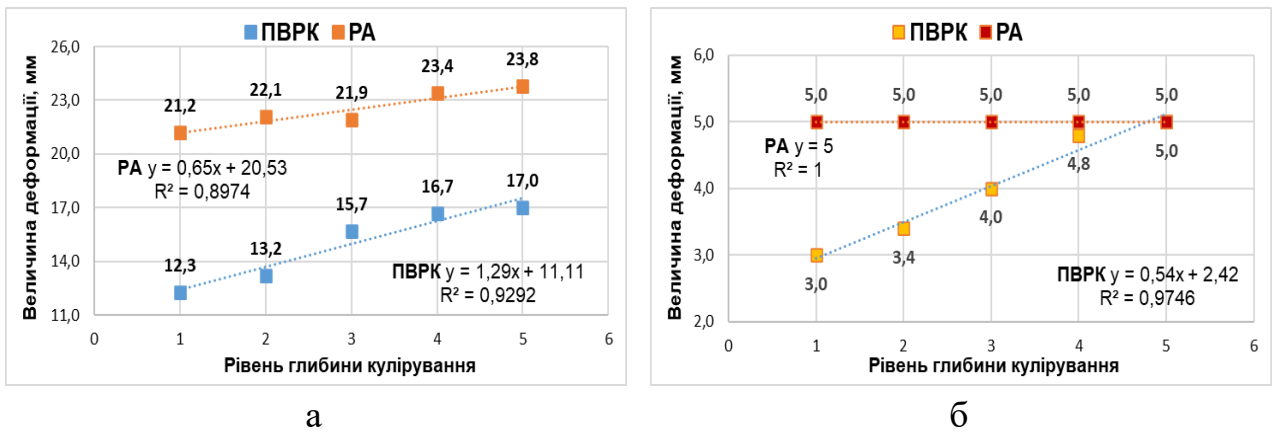


Рис.4.32 Графіки залежності величини деформації зразків трикотажу під дією зусилля проколу стержем: а) з *UHMWPE* нитки; б) з *РА* нитки

Слід зазначити, що на величину деформації не має впливу щільність в'язання у разі вироблення трикотажного матеріалу з пара-арамідної нитки на плосков'язальному обладнанні з платинами. Фізико-механічні характеристики високомолекулярних поліетиленових ниток обумовлюють більшу величину деформації трикотажного матеріалу під впливом стержня. У разі використання поліетиленових 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 пара-арамідних 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 2 мм) під впливом перфоруючого зусилля стержня зі зменшенням щільності в'язання можна пояснити зростанням наскрізної пористості трикотажного матеріалу та зменшенням зигзагоподібної будови петель у петельних стовпчиках [14].

#### 4.4.4 Дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів з високоміцних ниток до прорізування циркулярним ножом

Для визначення ефективності захисту обраного текстильного матеріалу одним з видів механічних ризиків є поріз циркулярним ножом. Стійкість до порізу входить до номенклатури рекомендованих показників якості текстильних матеріалів, які використовуються для виготовлення спеціального одягу робітників, спортсменів та в багатьох інших сферах застосування, де потрібно забезпечити певний рівень захисту від порізів. Слід зазначити, що на даний показник впливає як вид сировини, так і структура переплетення текстильного матеріалу.

Руйнування структури текстильного матеріалу внаслідок порізу можливо уникнути шляхом розробки текстильних матеріалів, стійких до дії механічних ушкоджень. Наразі існує досвід використання для виготовлення таких матеріалів процесу в'язання. Найбільш розповсюдженим обладнанням для виготовлення захисних трикотажних матеріалів є плосков'язальне обладнання. Однак питання впливу саме типу плосков'язального обладнання (з платинами або без) на структуру текстильного матеріалу та його механічні характеристики вивчені не достатньо.

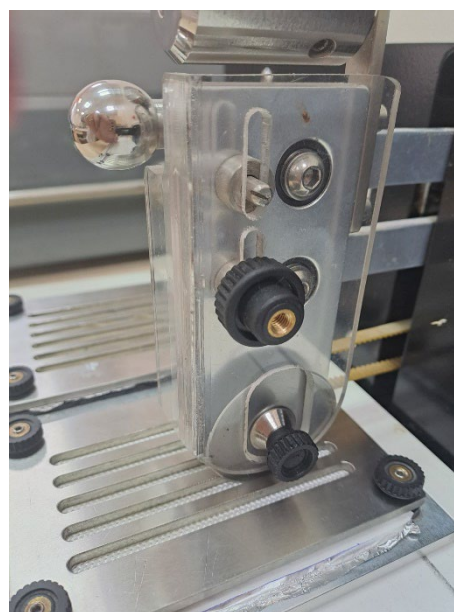
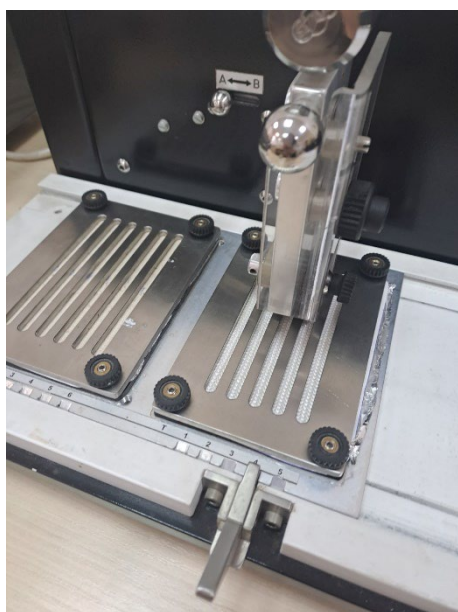


Рис.4.33 Зовнішній вигляд платформ, в які заправлено тканину еталон (для контролю рівня гостроти леза) та пробу трикотажно матеріалу

Характеристика дослідних зразків наведена у розділі 2. У відповідності до існуючої методики EN 388-2019 [13]. встановлено індекс стійкості до порізу дослідних зразків трикотажних матеріалів.

Слід зауважити, що методика визначення опору різанню [13] передбачає підготовку проб з розташуванням ниток основи й утку під кутом 45°. У нашому випадку ми маємо справу з трикотажною структурою, в якій формування текстильного матеріалу відбувається шляхом послідовного згинання відрізка нитки та утворення ряду петель. І опір різанню чинять не прямолінійні, а криволінійні відрізки ниток. Тому з метою вивчення характеру впливу структури переплетення текстильного матеріалу у вигляді петель, форма яких відрізняється в залежності від обраного типу плосков'язального обладнання (з платинами або без), підготовку проб розміром 100 мм×60 мм виконано для здійснення порізу у трьох напрямках: під кутом 45° як передбачає EN 388-2019 [13], вздовж петельного ряду та стовпчика.

У ході експерименту виявлено, що у разі розташування лінії петельного ряду трикотажного матеріалу в пробі під кутом 45°, незалежно від типу обладнання та виду високоміцних ниток щільність в'язання не має суттєвого впливу на величину опору різанню (індексу). При цьому опір різанню (індекс) дослідних проб з розташуванням лінії петельного ряду під кутом 45° наведено у таблиці 4.20 та для наглядності побудовано діаграму рис.4.34.

Таблиця 4.20

Опір різанню (індекс) дослідних зразків трикотажних матеріалів по діагоналі

Тип плосков'язального обладнання			
без платин типу ПВРК		з платинами типу РА	
<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
4,3	2,5	3,8	3,5

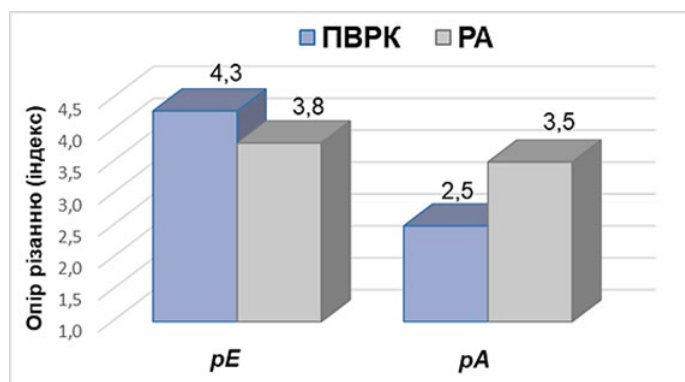


Рис.4.34 Діаграми індексу стійкості до порізу у відповідності до методики

Як видно з діаграм, наведених на рис.4.34, тип плосков'язального обладнання та характеристики високоміцних ниток впливають на рівень стійкості до порізу. Однак за одержаною у відповідності до EN 388-2019 [13] величиною індексу стійкості до порізу усі дослідні зразки відповідають 2-му рівню стійкості до порізу (табл. 2.5). При цьому за умови в'язання трикотажного матеріалу максимальної щільності з використанням високомолекулярних поліетиленових ниток на плоскофанговій машині без платин можна досягти 3-го рівня стійкості до порізу завдяки тому, що у випадку загального зусилля відтягування полотна, трикотаж має більшу щільність по горизонталі і на одиницю довжини більша кількість відрізків нитки в області паличок петель опирається порізу. У випадку використання плосков'язальної машини з платинами такого рівня ущільнення структури не можливо досягти, оскільки у процесі в'язання петлі формуються та утримуються під час замикання від підйому разом з голкою шляхом зосередженого на платинних дугах зусилля відтягування.

Крім того, слід зазначити, що у разі виготовлення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні з платинами вид високоміцних ниток не має суттєвого впливу на величину індексу стійкості до порізу (3,8 та 3,5 відповідно для поліетиленових та пара-арамідних ниток). У разі вироблення на плосков'язальному обладнанні без платин зразки трикотажного матеріалу з поліетиленових ниток демонструють на 41,9 % вищий індекс стійкості до порізу (4,3 та 2,5 відповідно для поліетиленових та пара-арамідних ниток).

У таблиці 4.20 наведено одержані величини опору різанню (індексу) розроблених зразків трикотажних матеріалів з двох видів високоміцних ниток у напрямку петельних рядів та стовпчиків для кожного з типів в'язального обладнання.

Таблиця 4.20

## Опір різанню (індекс) дослідних зразків трикотажних матеріалів

№ зразка	Тип плосков'язального обладнання											
	без платин типу ПВРК						з платинами типу РА					
	рівень глибини кулірування, мм		опір різанню (індекс)				рівень глибини кулірування, мм		опір різанню (індекс)			
			вздовж пет.р.		вздовж пет. ст.				вздовж пет.р.		вздовж пет. ст.	
	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>	<i>pE</i>	<i>pA</i>
1	3,20	3,09	7,0	2,4	2,0	2,3	3,55	3,40	4,6	2,6	2,6	2,0
2	3,29	3,18	6,3	2,7	2,0	2,2	3,65	3,50	4,3	2,7	2,6	2,0
3	3,38	3,27	5,1	2,8	2,0	2,1	3,75	3,60	4,1	3,2	2,6	2,0
4	3,47	3,36	4,7	3,1	2,0	1,9	3,85	3,70	4,0	3,3	2,6	1,9
5	3,56	3,45	4,0	3,5	2,0	1,8	3,95	3,80	3,5	3,7	2,6	1,9

Шляхом обробки експериментальних даних встановлено регресійні залежності, що описують характер впливу зміни рівня глибини кулірування на опір різанню (індекс) у залежності від напрямку різання: вздовж лінії петельного ряду чи стовпчика (рис.4.35).

Як видно з графіків, наведених на рис.4.35, тип плосков'язального обладнання впливає на характер зміни індексу стійкості до порізу вздовж петельного ряду, що обумовлено різною формою утворених петель у разі реалізації процесу петлетворення без участі платин (ПВРК) та з платинами (РА). Зигзагоподібне розташування петель у петельному стовпчику трикотажних матеріалів з пара-арамідних ниток призводить до зміни характеру впливу щільності в'язання порівняно з пробами з високомолекулярних поліетиленових ниток, а саме зростання рівня стійкості вздовж петельного ряду зі збільшенням глибини кулірування (рис.4.35 г) та навпаки до зменшення опору різанню у напрямку петельних стовпчиків (рис.4.35 в). Це обумовлено збільшенням кута нахилу остовів петель в суміжних рядах зі збільшенням глибини кулірування. Натомість у разі використання високомолекулярних поліетиленових ниток для



виготовлення дослідних зразків на машині типу ПВРК зростання глибини кулірування призводить до зниження індексу стійкості до порізу внаслідок збільшення висоти паличок остовів петель та зменшенню кількості ниток, що опирається порізу.

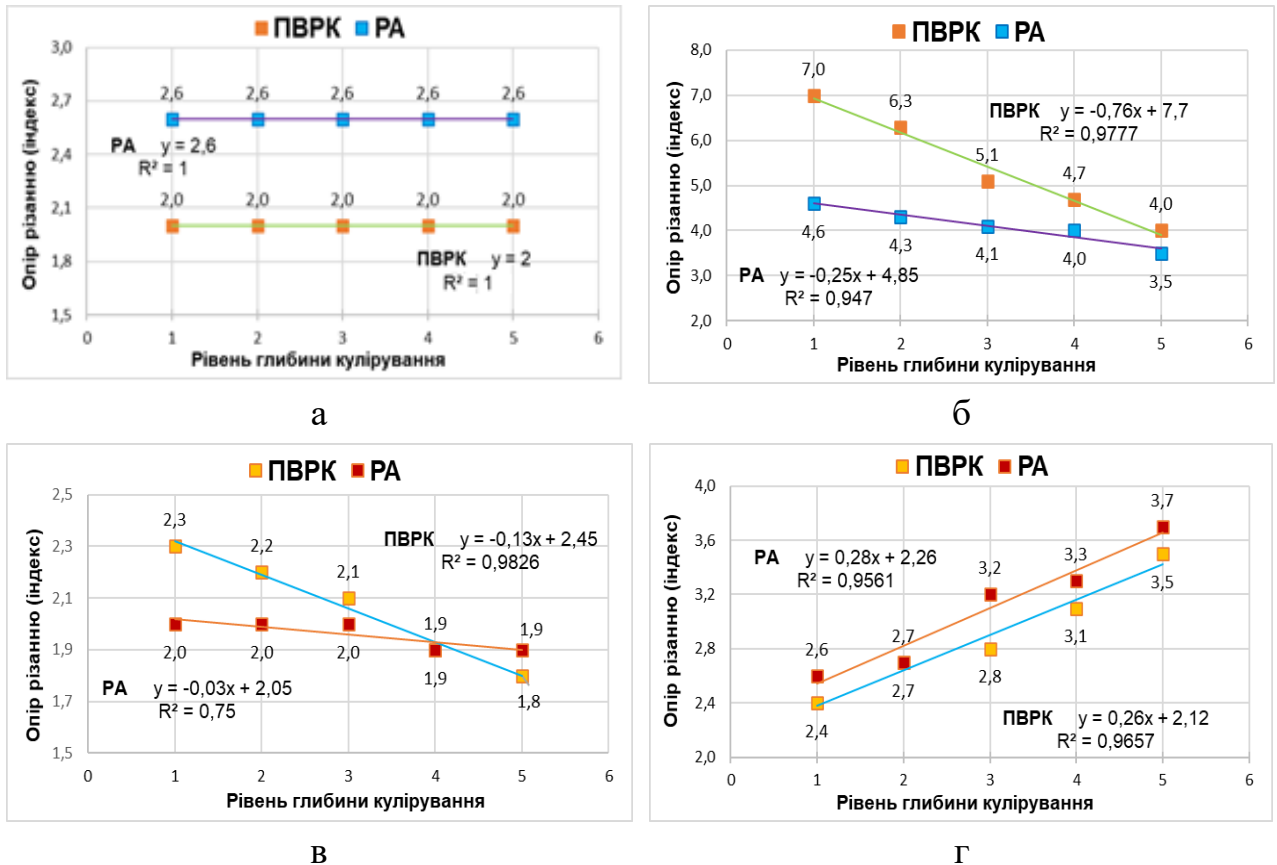


Рис.4.35 Графіки залежності опору різанню (індекс) від зміни щільності в'язання:

з *UHMWPE* нитки: а) вздовж петельного стовпчика; б) вздовж петельного ряду;  
з *pA* нитки: в) вздовж петельного стовпчика; г) вздовж петельного ряду

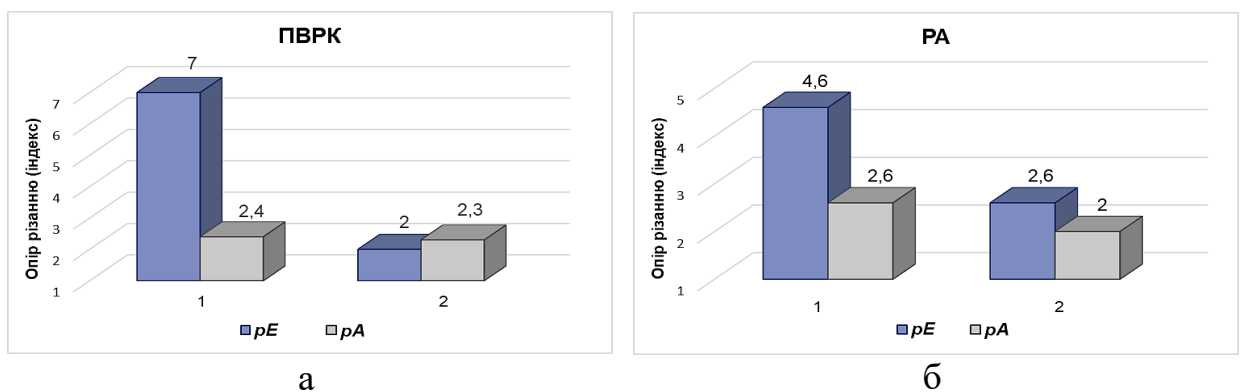


Рис. 4.36 Діаграми індексу стійкості трикотажних матеріалів:

1 - вздовж петельного ряду, 2 - вздовж петельного стовпчика; на двох типах плосков'язального обладнання при 1-му рівні глибини кулірування:

а) без платин ПВРК; б) з платинами РА;

Для співставлення впливу типу плосков'язального обладнання на індекс стійкості трикотажних матеріалів з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток побудовано відповідні діаграми для середніх значень при 1-му рівні глибини кулірування (рис.4.36).

Зразок трикотажного матеріалу, вироблений з високомолекулярної поліетиленової нитки при 1-му рівні глибини кулірування на в'язальному обладнанні без платин за індексом стійкості до порізу вздовж петельного ряду (рис.4.36 а (1)) відповідає 3 рівню. У разі виконання порізу у напрямку петельного стовпчика вплив форми петель трикотажних матеріалів, вироблених на в'язальному обладнанні різних типів з високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток, менш яскраво виражений (рис.4.36 а (2), 4.36 б (2)).

## Висновки до розділу 4

1. На розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки впливає як величина затискної довжини, так і розташування точки переплетення у разі проведення випробувань петлею. Величина питомого розривального зусилля у разі проведення досліджень петлею більша, ніж при дослідженні прямолінійних відрізків нитки. Це можна пояснити паралелізацією та ущільненням філаментів за рахунок наявності на відрізьку нитки, що опирається розриву, точки переплетення.

2. Встановлено, що величина розривального навантаження корелюється з кількістю ниток, що опирається розриву. При цьому величина відносного розривального видовження не залежить від кількості ниток. У разі дослідження петлею у діапазоні затискної довжини 50 мм÷200 мм величина розривального зусилля, яке витримує проба, залишається незмінною. У ході дослідження розривальних характеристик пара-арамідних ниток лінійної густини 44текс у 6 кінців при їх паралельному розташуванні та петлею виявлено, що наявність точки переплетення у центрі проби призводить до зменшення величини розривального видовження у понад 1,5 рази.

3. Зміщення точки переплетення відносно рухомого затискача призводить до зменшення величини розривального навантаження, що обумовлено зростанням зусилля, яке припадає на одиницю довжини відрізка нитки від точки переплетення до верхнього рухомого затискача. Зростання розривального видовження пояснюється збільшенням відрізка нитки від нерухомого затискача до точки переплетення, в якій зосереджена основна розривальна напруга. Слід також зауважити, що на величину розривального навантаження поліетиленова нитка для всіх трьох випадків розташування точки переплетення більша порівняно з пара-арамідною ниткою на  $12,5 \div 20,9\%$ . При цьому розривальне видовження спостерігається вищим у пара-арамідних ниток (на  $7,1 \div 28,5\%$  в залежності від розташування точки переплетення), що обумовлено фізико-механічними властивостями обраних видів високоміцних ниток.

4. У ході проведених досліджень встановлено, що за величиною розривального навантаження після в'язання на одиницю лінійної густини поліетиленова нитка показала кращі результати. Це пов'язано з особливостями протікання процесу петлетворення та характеристиками нитки, яка являє собою багатофіламентну не кручену нитку.

5. У процесі переробки на в'язальному обладнанні, поліетиленова нитка внаслідок особливостей будови вихідного полімеру стає більш податливою до розривального видовження, у порівнянні з пара-арамідною ниткою. При цьому розривальне видовження пара-арамідних ниток після їх переробки у структуру трикотажу навіть зменшується порівняно з вихідною сировиною. Це можна пояснити тим, що у процесі в'язання під дією зусилля відтягування відбувається розпрямлення та паралелізація елементарних волокон в структурі комплексної нитки, внаслідок чого і зменшується розривальне видовження.

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

7. Виявлено, що збільшення глибини кулірування в обраному діапазоні призводить до збільшення довжини нитки в петлі трикотажного матеріалу, однак на обладнанні без платин типу ПВРК можна досягти більш щільної структури, а саме: при зміні в'язального обладнання довжина нитки в петлі збільшилася для поліетиленових ниток на 2,6%, для пара-арамідних на 4,5%.

8. В залежності від типу в'язального обладнання спостерігається різний характер зміни товщини трикотажного матеріалу. Зокрема на обладнанні з платинами типу ПВРК зі зміною глибини кулірування у заданому діапазоні товщина зменшується, а саме: у випадку використання UHMWPE нитки на 2,37% з, у випадку *pA* нитки – на 6,15%. У разі виготовлення трикотажного матеріалу на обладнанні з платинами типу РА зі збільшенням глибини кулірування товщина навпаки збільшується, а саме: у випадку використання UHMWPE нитки на 2,7%, у випадку *pA* – на 4,9%.

9. У разі вироблення трикотажу з *pE* ниток на машині з платинами типу РА вплив зміни глибини кулірування на поверхневу густину описується моделлю другого порядку у вигляді параболи, де найменшу величину поверхневої густини зафіксовано при  $hk=3.85$ , після досягнення якої у подальшому зі зменшенням на 8,3% до  $hk=3.95$  зростає на 4,8%. Це пояснюється властивостями високомолекулярної поліетиленової нитки та залученням до процесу формування петель платин.

10. 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 *pA* 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 *pE* ниток.

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

12. Через обмежені характеристики розривної машини моделі WDW-5ES дослідні зразки трикотажного матеріалу, виготовлені з *UHMWPE* ниток на обладнанні без платин типу ПВРК не досягли моменту руйнування петельної структури внаслідок продавлювання кулькою. Характер руйнування проби зразків трикотажного матеріалу, виробленого на в'язальному обладнанні без платин, описується моделлю другого порядку та має вигляд параболи.

13. При проколі стержнем, 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 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 стержнем та продавлювання кулькою.

14. Одержані результати експериментальних досліджень дозволили з'ясувати вплив типу в'язального обладнання та виду високоміцних ниток на рівень стійкості трикотажного матеріалу до порізу. Виявлено, що усі дослідні зразки трикотажних матеріалів відповідають 2-му рівню стійкості до порізу. При цьому за умови в'язання на плосков'язальній машині типу ПВРК трикотажного матеріалу максимальної щільності з використанням високомолекулярних поліетиленових ниток можна досягти 3-го рівня стійкості до порізу завдяки тому, що у випадку загального зусилля відтягування трикотаж має більшу щільність по горизонталі і на одиницю довжини більша кількість відрізків нитки в області паличок петель опирається порізу.

## Список використаних джерел до розділу 4

1. Ielina T., Halavska L., Mikucioniene D., Milasius R., Bobrova S., Dmytryk O. Development of 3D Models of Knits from Multi-Filament Ultra-Strong Yarns for Theoretical Modelling of Air Permeability. *Materials*. 2021. № 14 (13). 3489. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14133489>.
2. ДСТУ ISO 2062:2015. Текстиль. Пряжа в упаковках. Визначення розривного зусилля і відносного подовження під час розривання одиничної нитки із застосуванням приладу для випробування на розтягування з постійною швидкістю (CRE) (ISO 2062:2009, IDT). На заміну ГОСТ 6611.2-73 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88) ; чинний від 2016–01–01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2015.
3. Боброва С. Ю., Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки. *Технології та інжиніринг*. 2021. №4. С. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.4.5>.
4. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. Study of factors influencing loss of strength of high molecular weight polyethylene threads. *Збірник матеріалів V Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (21 жовтня 2021 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2021. С. 89–91. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19106> (дата звернення: 13.06.2024).
5. Дмитрик О. М., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Дослідження розривальних характеристик комплексної параарамідної нитки. *Технології та інжиніринг*. 2022. № 6. С. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.6>.
6. ДСТУ ISO 2062:2015. Текстиль. Пряжа в упаковках. Визначення розривного зусилля і відносного подовження під час розривання одиничної нитки із застосуванням приладу для випробування на розтягування з постійною швидкістю (CRE) (ISO 2062:2009, IDT). На заміну ГОСТ 6611.2-73 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88) ; чинний від 2016–01–01. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2015.
7. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності параарамідних ниток після в'язання. *Молодь - науці і виробництву 2019: Інноваційні технології легкої*

*промисловості* : мат. міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених (м. Херсон, 16-17 травня 2019 р.). Херсон: ХНТУ, 2019. С. 49–51. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14521>

8. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Дослідження впливу виду надміцної сировини на показники втрати міцності після в'язання. *Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (31 жовтня 2019 р., м. Київ). Київ : КНУТД, 2019. С. 257–261. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14811> (дата звернення: 13.06.2024).

9. Ключко О. І. Дослідження у трикотажній галузі: навч. посіб. Київ : КНУТД, 2006. 190 с.

10. ДСТУ EN ISO 13934-1:2018. Текстиль. Розривні властивості тканин. Частина 1.Визначення максимального зусилля та видовження за максимального зусилляметодом прямокутного шматка. (EN ISO13934-1:2013, IDT; ISO 13934-1:2013, IDT) ; чинний від 2018–07–20. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 18 с.

11. GOST 8847-85 Knitted fabrics. Methods for determination of breaking characteristics and extensibility under loads less than breaking loads

12. PN-EN ISO 3379:2015. Leather – Determination of Distension and Strength of Surface (Ball Burst Method).

13. EN 388-2019. Система стандартів охорони праці. Засоби індивідуального захисту рук. Захисні рукавички від механічних пошкоджень. Технічні вимоги. Методи випробувань. Дата актуалізації: 2021–01–01.

14. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Вплив технологічних факторів одержання трикотажу з високоміцних ниток на форму петель та параметри його структури. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 5. С. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.6>.

15. 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. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.2.8>.

16. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Боброва С. Ю. Опір різанню трикотажного матеріалу, виробленого з високоміцних ниток на плосков'язальному обладнанні з платинами та без. *Індустрія моди*. 2024. № 2, С. 43–59. DOI: 10.30857/2706-5898.2024.2

17. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Харченко Ю. М. Вплив типу плосков'язального обладнання на показники стійкості трикотажного матеріалу з високоміцних ниток до дії механічних ушкоджень (прокол стержнем, продавлювання кулькою). *Технології та інжиніринг*. 2024. № 3 (19). С. 81–97. DOI: 10.30857/2786-5371.2024.3.



## **РОЗДІЛ 5**

### **РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК ТА ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Для захисту від механічних ушкоджень використовують різні текстильні матеріали, які повинні мати задані параметри структури та володіти певними захисними властивостями відповідно до цільового призначення. Для визначення показників якості, якими володітиме розроблений текстильний матеріал, та досягнення бажаного результату, попередньо виконують низку експериментальних досліджень з виявлення факторів, що впливають на них, та пошуку оптимальних рішень. Така процедура є затратною як з позиції сировинних, так і людських ресурсів.

Пошук раціональних параметрів в'язання у відповідності до вимог, які висуваються до трикотажного матеріалу, в умовах виробництва передбачає виготовлення дослідних зразків. При цьому варто зауважити, що зміна параметрів в'язання обумовлює різний характер зміни параметрів структури та показників якості трикотажного матеріалу. У нашому випадку виявлено ще один важливий фактор процесу в'язання – це наявність або відсутність платин на в'язальному обладнанні, який впливає на форму петель, параметри структури та рівень стійкості до механічних впливів. Виготовлення великої кількості дослідних зразків на шляху визначення раціональних параметрів в'язання призводить до значних фінансових витрат [1]. Адже виробництво трикотажних матеріалів для захисту від механічних ушкоджень передбачає використання високоміцних ниток, які мають значно вищу вартість порівняно з традиційними видами сировини для трикотажної галузі. Тому, у таких випадках доречно шляхом реалізації активного експерименту попередньо встановити регресійні

залежності, що адекватно описують вплив параметрів в'язання на форму петель, параметри структури трикотажного матеріалу та його стійкість до механічних впливів. Наявність таких математичних моделей забезпечує можливість встановлення спільного для визначених величин показників якості трикотажного матеріалу діапазону вхідного параметра (глибини кулірування).

Наразі проектування трикотажного матеріалу з ниток підвищеної міцності шляхом математичного моделювання параметрів його структури та властивостей у відповідності до обраного виду високоміцних ниток на сьогоднішній день є актуальним завданням для підприємств, що спеціалізуються на виготовленні трикотажних матеріалів для захисту від механічних ушкоджень. Вирішення такого роду задач передбачає пошук оптимальних рішень та розробку рекомендованих технологічних режимів виготовлення трикотажного матеріалу високоміцних ниток з урахуванням забезпечення заданого рівня стійкості трикотажного матеріалу до розриву, проколу стержем, продавлювання кулькою, прорізування і т.ін..

Поставлена задача відноситься до задач пошуку оптимальних рішень, в якій вхідні та вихідні параметри не можуть бути від'ємними. Їх величини знаходяться у відповідно визначених заданих діапазонах області визначення та області допустимих значень відповідно для вхідного та вихідного параметрів, за межі яких не можна виходити. Шляхом введення обмежень на показники якості необхідно здійснити пошук спільного діапазону зміни глибини кулірування.

При проектуванні у якості вхідних параметрів виступають: тип в'язального обладнання, вид високоміцних ниток та величина глибини кулірування. Якість трикотажного матеріалу для захисту від механічних ушкоджень пропонується оцінювати за наступними показниками якості:

*параметри структури:*

- довжина нитки в петлі, мм;
- кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу;
- кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;
- товщина трикотажу, мм;

- поверхнева густина, г/м<sup>2</sup>.

*характеристики форми петлі:*

- ширина петлі, мм;
- висота петлі, мм;
- площа петлі, мм;
- довжина нитки у паличці остова петлі, мм:
  - ліва сторона палички;
  - права сторона палички;
- кут нахилу дотичної у точці переплетення °:
  - ліва сторона петлі;
  - права сторона петлі;
- кут нахилу палички остова петлі °:
  - ліва сторона палички;
  - права сторона палички.

*властивості трикотажного матеріалу:*

- розривальне навантаження по довжині, N;
- розривальне видовження по довжині, %;
- розривальне навантаження по ширині, N;
- розривальне видовження по ширині, %;
- прокол стержнем, H;
- продавлювання кулькою, H;
- прорізування дисковим лезом, (індекс):
  - вздовж петельного ряду;
  - вздовж петельного стовпчика.

За результатами проведених досліджень та одержаних регресійних математичних залежностей (зазначених у розділах 3 та 4), які описують вплив зміни глибини кулірування виготовлених дослідних зразків трикотажного матеріалу переплетенням гладь з високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток на двох типах в'язального обладнання (без платин типу ПВРК та з платинами типу РА) на їх параметри структури та властивості, встановлено

діапазони мінімальних та максимальних значень досліджуваних параметрів структури, характеристик форми петлі та властивостей матеріалу, які зведено у таблиці 5.1–5.4.

Таблиця 5.1

Трикотажний матеріал, виготовлений з високомолекулярної поліетиленової нитки на обладнанні без платин (типу ПВРК)

Показник	можливий діапазон	
	min	max
<b>Параметри структури</b>		
Довжина нитки в петлі, мм;	8,35	8,90
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	49,11	46,03
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу	54,31	50,93
Товщина трикотажу, мм;	1,14	1,11
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	343,87	317,36
<b>Характеристики форми петлі</b>		
Ширина петлі, мм	2,15	2,31
Висота петлі, мм	1,72	1,98
Площа петлі, мм	3,80	4,51
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм		
- ліва сторона палички	1,06	1,16
- права сторона палички	1,07	1,15
Кут нахилу дотичної у точці переплетення °:		
- ліва сторона петлі	28,96	27,87
- права сторона петлі	29,20	27,21
Кут нахилу палички остова петлі °:		
- ліва сторона палички	63,93	65,94
- права сторона палички	65,71	68,27
<b>Властивості матеріалу</b>		
Розривальне навантаження по довжині, N	2621,24	3487,27
Розривальне видовження по довжині, %	72,57	83,00
Розривальне навантаження по ширині, N	1934,98	1744,31
Розривальне видовження по ширині, %	268,34	252,87
Прокол стержнем, N	464,76	390,09
Продавлювання кулькою, N	більше 5 000	
Прорізування дисковим лезом, (індекс)		
- вздовж петельного ряду	5,27	4,99
- вздовж петельного стовпчика	2	2

Таблиця 5.2

Трикотажний матеріал, виготовлений з пара-арамідної нитки  
на обладнанні без платин (типу ПВРК)

Показник	можливий діапазон	
	min	max
<b>Параметри структури</b>		
Довжина нитки в петлі, мм;	7,93	8,55
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	44,94	41,52
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	61,43	58,48
Товщина трикотажу, мм;	0,90	0,84
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	340,94	315,16
<b>Характеристики форми петлі</b>		
Ширина петлі, мм	1,97	2,10
Висота петлі, мм	1,65	1,90
Площа петлі, мм	3,12	3,60
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм		
- ліва паличка з нахилом в ліво	1,84	2,04
- ліва паличка з нахилом в право	0,88	0,99
- права паличка з нахилом в ліво	0,87	1,14
- права паличка з нахилом в право	1,84	1,91
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,15	0,11
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,43	0,50
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °:		
- ліва паличка з нахилом в ліво	28,41	25,67
- ліва паличка з нахилом в право	28,41	25,19
- права паличка з нахилом в ліво	29,64	26,40
- права паличка з нахилом в право	29,63	27,94
Кут нахилу палички остова петлі, °:		
- ліва паличка з нахилом в ліво	57,57	55,47
- ліва паличка з нахилом в право	94,22	91,57
- права паличка з нахилом в ліво	90,95	87,17
- права паличка з нахилом в право	57,55	56,05
<b>Властивості матеріалу</b>		
Розривальне навантаження по довжині, N	2471,62	2717,21
Розривальне видовження по довжині, %	89,45	93,43
Розривальне навантаження по ширині, N	1420,84	1234,34
Розривальне видовження по ширині, %	203,63	178,21

Продовження табл.5.2

Прокол стержнем, Н	543,95	422,80
Продавлювання кулькою, Н	3135,13	3319,89
Прорізування дисковим лезом, (індекс)		
- вздовж петельного ряду	2,92	3,02
- вздовж петельного стовпчика	2,05	2,00

Таблиця 5.3

Трикотажний матеріал, виготовлений з високомолекулярної поліетиленової нитки на обладнанні з платинами (типу РА)

Показник	можливий діапазон	
	min	max
<b>Параметри структури</b>		
Довжина нитки в петлі, мм;	8,56	9,32
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	35,40	36,60
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	77,26	64,42
Товщина трикотажу, мм;	1,38	1,42
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	387,03	365,25
<b>Характеристики форми петлі</b>		
Ширина петлі, мм	2,87	2,88
Висота петлі, мм	1,28	1,55
Площа петлі, мм	3,73	4,36
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм	1,197	1,31
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,39	0,29
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,30	0,29
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	23,59	24,69
Кут нахилу палички остова петлі, °	55,00	58,98
<b>Властивості матеріалу</b>		
Розривальне навантаження по довжині, Н	2027,76	2422,96
Розривальне видовження по довжині, %	134,17	145,77
Розривальне навантаження по ширині, Н	2341,40	2105,19
Розривальне видовження по ширині, %	158,38	225,96
Прокол стержнем, Н	376,44	286,43
Продавлювання кулькою, Н	4764,88	4382,49
Прорізування дисковим лезом, (індекс)		
- вздовж петельного ряду	3,96	3,86
- вздовж петельного стовпчика	2,60	2,60

Трикотажний матеріал, виготовлений з пара-арамідної нитки  
на обладнанні з платинами (типу РА)

Показник	можливий діапазон	
	min	max
<b>Параметри структури</b>		
Довжина нитки в петлі, мм;	8,31	8,97
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	41,34	39,62
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	64,31	55,17
Товщина трикотажу, мм;	0,96	1,01
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	310,03	286,36
<b>Характеристики форми петлі</b>		
Ширина петлі, мм	2,50	2,67
Висота петлі, мм	1,57	1,84
Площа петлі, мм	3,84	4,95
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм	1,39	1,51
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,61	0,67
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,30	0,58
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	16,79	18,16
Кут нахилу палички остова петлі, °	68,04	70,67
<b>Властивості матеріалу</b>		
Розривальне навантаження по довжині, N	2090,65	2322,14
Розривальне видовження по довжині, %	105,30	110,33
Розривальне навантаження по ширині, N	1399,15	1251,16
Розривальне видовження по ширині, %	189,81	222,00
Прокол стержем, N	486,45	375,64
Продавлювання кулькою, N	3520,20	3388,12
Прорізування дисковим лезом, (індекс)		
- вздовж петельного ряду	3,21	3,32
- вздовж петельного стовпчика	1,95	1,94

Для вирішення питання пошуку раціональних параметрів в'язання трикотажного матеріалу із заданими показниками стійкості до механічних впливів розроблено алгоритм та відповідне програмне забезпечення. При цьому, пошук раціональних параметрів передбачає вибір типу плосков'язального обладнання (з платинами або без), виду високоміцних ниток (пара-арамідних або високомолекулярних поліетиленових) та рівня глибини кулірування, що

дозволяють отримати трикотажний матеріал із заданими характеристиками стійкості до дії механічних ушкоджень (розрив, прокол стержнем, продавлювання кулькою, прорізування лезом дискового ножа). Застосування даної програми дозволить в умовах виробництва оперативно здійснювати розрахунок характеристик форми петель, параметрів структури та показників опору трикотажного матеріалу механічним впливам у відповідності до обраного рівня глибини кулірування. Програма дозволяє знайти найкращий діапазон значень глибини кулірування, при якому обрані показники стійкості до механічних впливів трикотажного матеріалу відповідатимуть поставленим вимогам щодо рівня захисту та його якості. При цьому величина глибини кулірування має знаходитись у реально існуючому діапазоні.

Алгоритм програми передбачає два режими виконання розрахунків: «Проектування» та «Прогнозування».

**Режим розрахунків «Проектування».** Зазначений традиційний режим передбачає здійснення технологічних розрахунків за одержаними у ході реалізації активного експерименту математичними залежностями представленими у розділах 3 та 4, що описують вплив параметрів в'язання на форму петель, параметри структури та характеристики міцності кулірного трикотажу в залежності від типу в'язального обладнання та обраного виду високоміцних ниток. Даний режим дозволяє без будь-яких ускладнень знайти значення досліджуваних показників якості трикотажного матеріалу для захисту від механічних ушкоджень. Необхідно ввести лише значення глибини кулірування із зазначеного реально існуючого діапазону (визначений за умови нормального протікання процесу петлетворення при максимально та мінімально можливій щільності в'язання) та отримати очікувані значення характеристик форми петель, параметрів структури та властивостей трикотажного матеріалу.

**Режим розрахунків «Прогнозування».** Запропонований режим розрахунків допомагає знайти спільний діапазон області визначення вхідного параметра (глибини кулірування), який забезпечить компромісно найкращу область значень форми петель, параметрів структури та показників якості з



введеними на них обмеженнями. Користувач обирає найбільш вагомі показники якості та зазначає їх область значень. Далі в автоматичному режимі відбувається пошук області визначення вхідного параметра, яка б відповідала діапазонам області значень усіх обраних цільових показників якості. Потім користувач визначає чи можливе виготовлення високоміцного трикотажу у одержаному діапазоні області визначення вхідного параметра. Якщо так, то відбувається розрахунок діапазону області значень усіх показників якості кулірного трикотажу в одержаному діапазоні області визначення вхідного параметра на підставі одержаних математичних залежностей, аналогічно як у режимі проектування. Якщо отримано результат, який не відповідає обмеженням вхідного параметра, то розрахунок необхідно проводити з самого початку і до тих пір, поки не буде знайдено оптимальне рішення.

Створена програма здатна забезпечити значне скорочення часу, який витрачається на пошук оптимального діапазону значень вихідних параметрів, які відповідають вимогам якості трикотажного матеріалу для захисту від механічних ушкоджень, а також дозволяє детально проаналізувати численні варіанти розрахунків та зменшити при цьому сировинні та людські ресурси на вирішення питання пошуку раціональних параметрів в'язання шляхом виготовлення серії дослідних зразків та дослідження їх властивостей.

У відповідності до вимог та запитів розробників сучасних додатків для створення програми обрано мову програмування C# Windows forms. Середовище розробки (IDE) Microsoft Visual Studio 2019. Зазначена мова програмування є відмінним інструментом для створення Windows додатків. У ході розробки програми використовувались наступні бібліотеки: System.Collections.Generic; OfficeOpenXml; System.ComponentModel; System.Data; System.Drawing; System.Linq; System.Text; System.Windows.Forms; System.IO та Microsoft.Office.Interop.Excel.

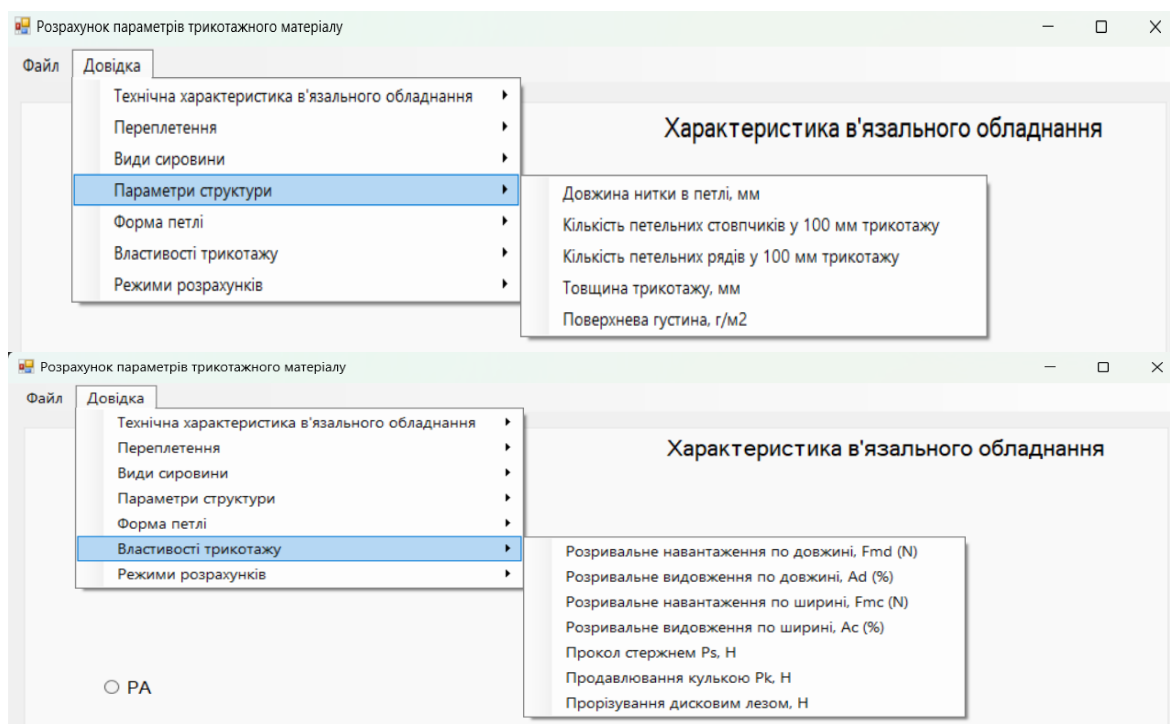
Основною вимогою на етапі розробки прикладної програми було створення не складного інтерфейсу, зрозумілого технологу, який буде

використовувати її у своїй роботі. Збереження отриманих результатів відбувається у вигляді Excel файлу формату \*.xls.

Головне діалогове вікно, на якому розташовано меню «Файл» та «Довідка» наведено на рис.5.1. Меню «Файл» містить наступні розділи: «Записати результати у файл» та «Зчитати результати».

Меню «Довідка» містить важливі для користувача в особі технолога розділи: «Технічна характеристика в'язального обладнання», «Переплетення», «Вид сировини», «Параметри структури», «Форма петлі», «Властивості трикотажу» та «Режим розрахунків». Кожен з цих розділів наповнений корисною для користувача довідковою інформацією (рис.5.1). Наявність інформації про режими розрахунків допомагає користувачеві користуватись інтерфейсом програми у відповідності до поставленої мети проектування.

Послідовні вкладки, дозволяють спростити навігацію та процес користування застосунком.

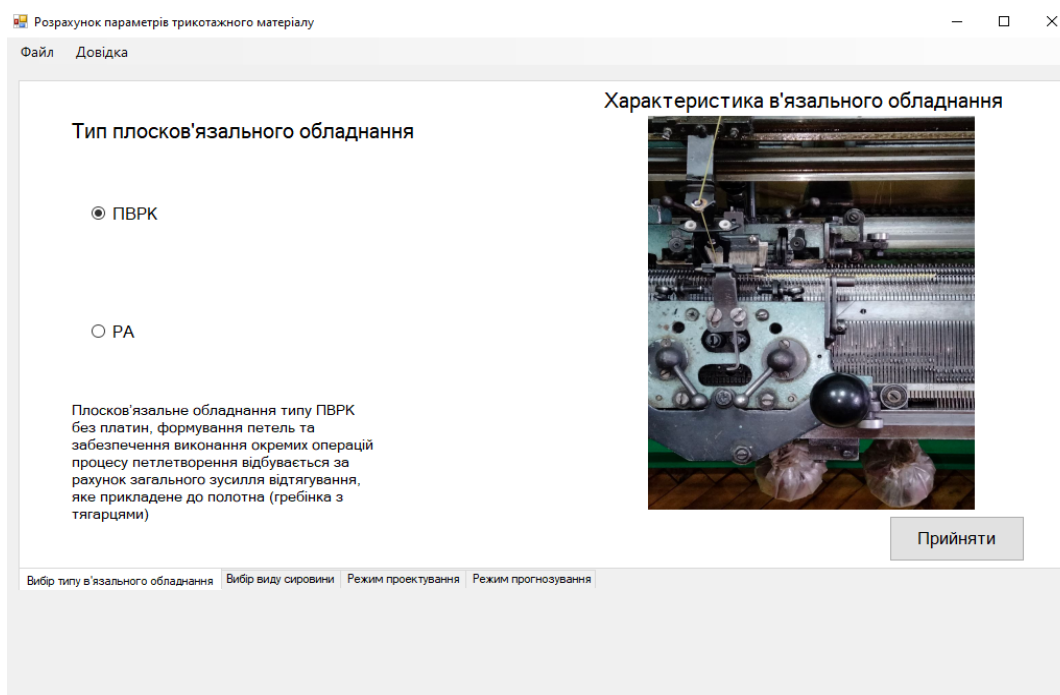


Рим.5.1 Приклад інформації меню програми «Довідка»

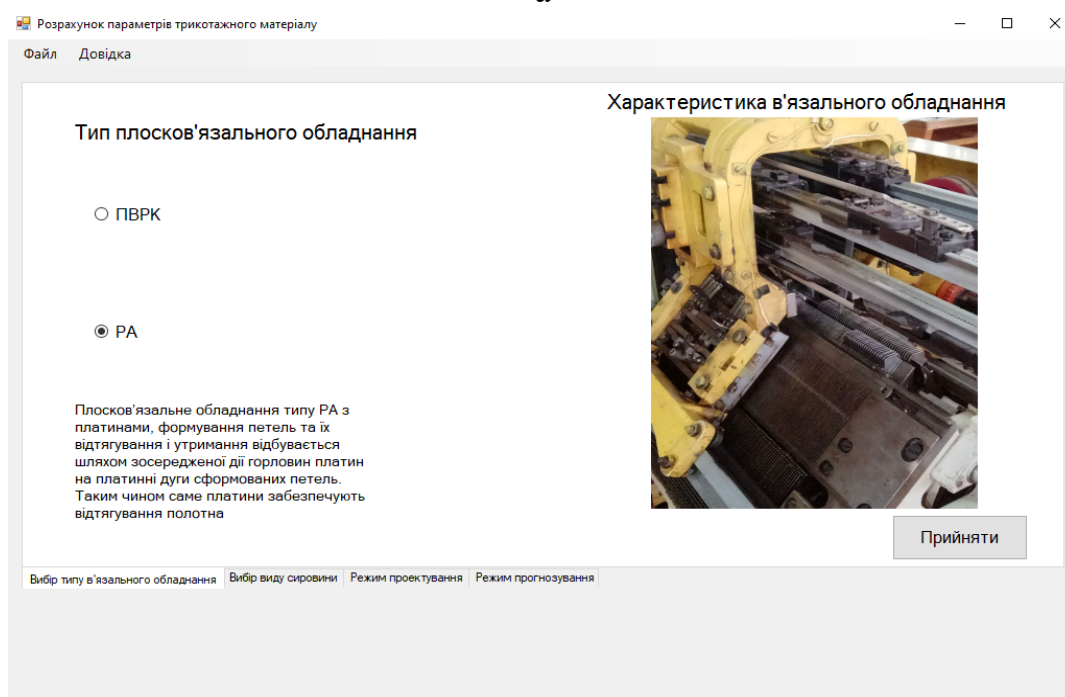
Головне вікно містить 4 вкладки: «Вибір типу в'язального обладнання», «Вибір виду сировини», «Режим проектування», «Режим прогнозування». Кожна вкладка має кнопки для підтвердження вибору та переходу до наступної або попередньої вкладки. Слід пам'ятати, що вкладки можна перемикає клікнувши

на їх назву, але в такому разі внесені зміни в даних не використовуватимуться в обчисленнях. Якщо користувач хоче зберегти зміни, що зробив у вкладці, то має обов'язково використати кнопку прийняти.

Вкладка «**Вибір типу в'язального обладнання**». На вкладці можна обрати тип обладнання і натиснувши кнопку «прийняти» відбудеться автоматичний перехід на наступну вкладку (рис. 5.2).



а



б

Рис.5.2 Вікно вибору плосков'язального обладнання:  
а) без платин типу ПВРК; б) з платинами типу РА

Вкладка «**Вибір виду сировини**». У цій вкладці можна обрати вид сировини та режим виконання розрахунків. Натиснувши кнопку «прийняти», відбувається перенаправлення на вкладку «Режим проектування» або «Режим прогнозування», в залежності від обраного режиму розрахунків. Кнопка «назад» перенаправить на вкладку «Вибір типу в'язального обладнання». Також відображається фото трикотажної структури з обраного виду сировини, в залежності від попередньо обраного виду обладнання.

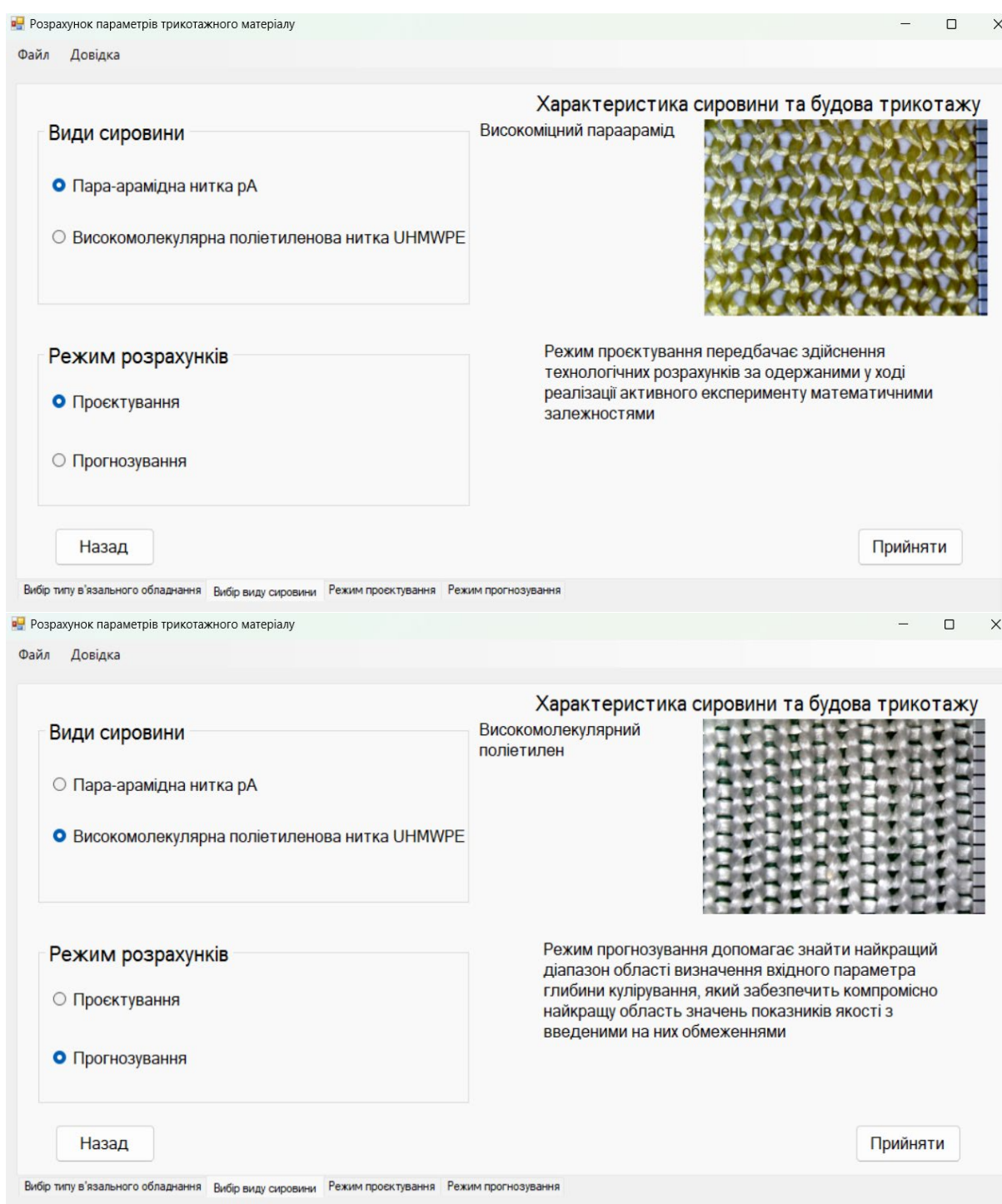


Рис.5.3 Вікно вибору сировини та режиму розрахунку

Вкладка «Режим проектування». У вкладці відображається попередньо виконаний користувачем вибір сировини та обладнання, та рекомендований діапазон зміни глибини кулірування для здійснення вибору величини. У поле «Значення глибини кулірування» можна вписати значення, що належить зазначеному «Рекомендованому діапазону зміни глибини кулірування» (рис.5.4). Якщо користувачем введено значення поза цього діапазону, то при натисканні кнопки «Прийняти» користувач отримає повідомлення про помилку та отримає другий шанс ввести правильне значення. Якщо значення коректне, то користувач побачить нове вікно з обчисленими значеннями при заданій глибині кулірування (рис. 5.5).

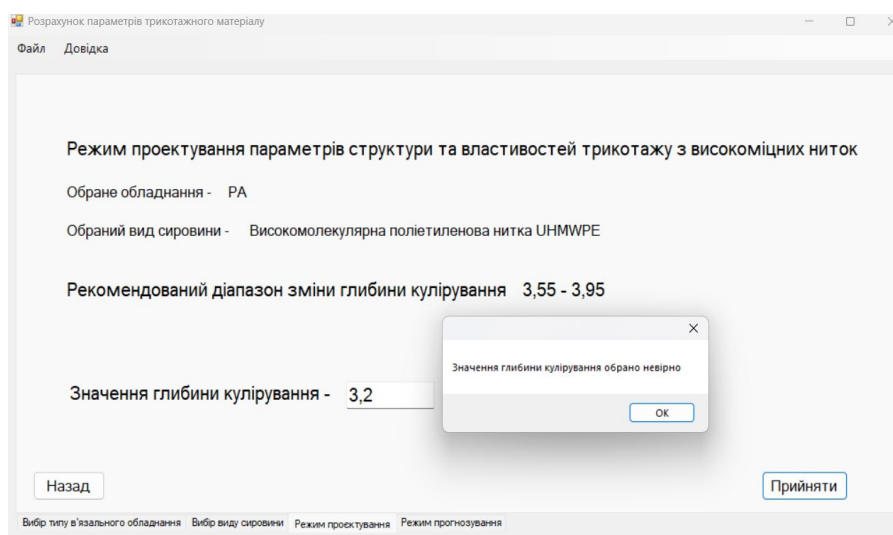


Рис.5.4 Вікно вкладки «Режим проектування» вибір глибини кулірування

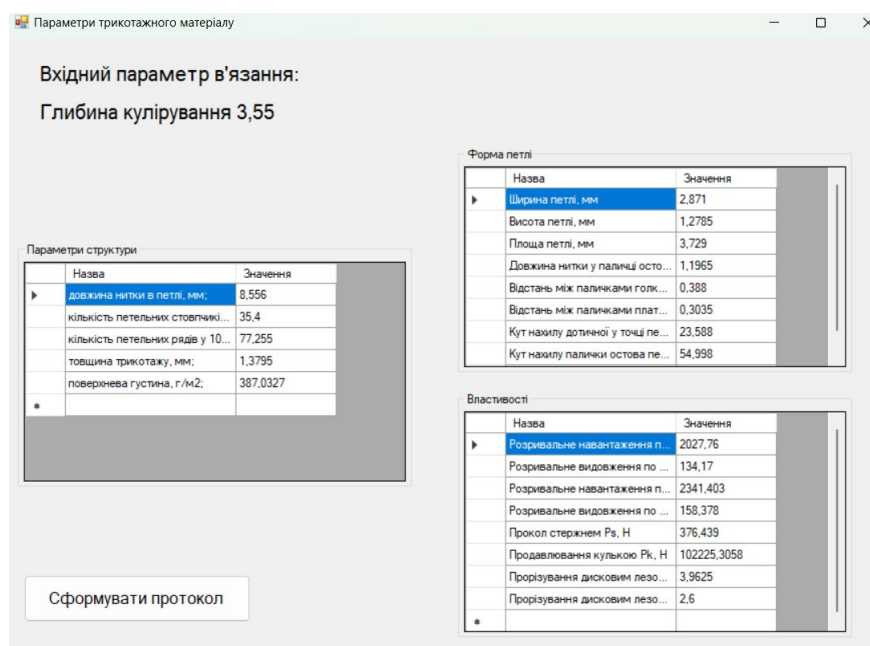


Рис.5.5 Вікно результатів вкладки «Режим проектування»

Вкладка **«Режим прогнозування»**. На цю вкладку користувач автоматично переходить, якщо було обрано режим виконання розрахунків «Режим прогнозування». На вкладці аналогічно як у «Режимі проектування» відображається попередньо «Обране обладнання», «Обраний вид сировини» та три кнопки з категоріями вибору найбільш вагомих показників якості: «Параметри структури», «Форма петлі», «Властивості матеріалу». Активувачи вікно «Режим прогнозування – оберіть вагомні показники прогнозування», користувач виконує вибір найбільш вагомих показників якості за кожною категорією (рис. 5.6). Після вікна «Режим прогнозування – оберіть вагомні показники прогнозування» користувач, натиснувши кнопку «Прийняти», активує на екрані вікно «Режим прогнозування – перегляд вагомих показників». Спільний діапазон глибини кулірування буде знайдений завжди.

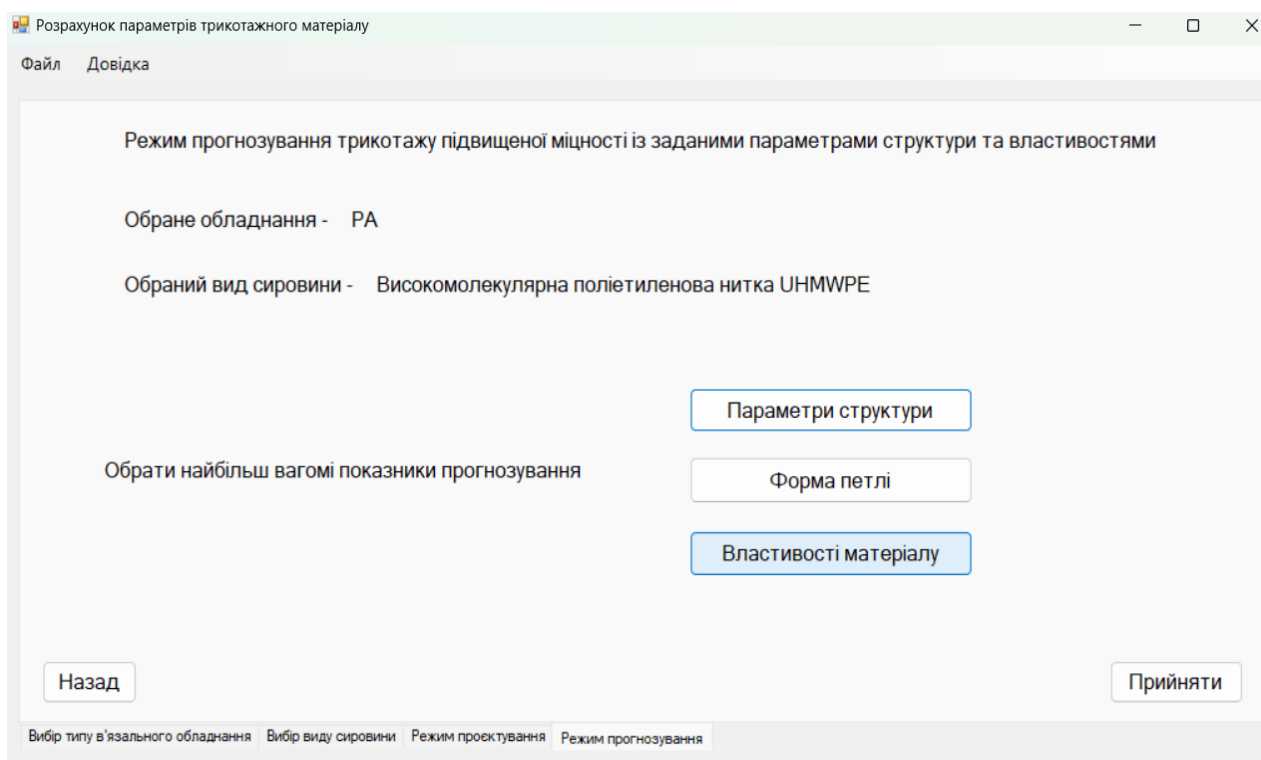


Рис.5.6 Вікно вкладки «Режим прогнозування», вибір показників

Вікно **«Режим прогнозування – оберіть вагомні показники прогнозування»**. Вікно, як вже зазначалося, призначене для вибору користувачем вагомих показників прогнозування. Для вибору показника користувач має: одинарним кліком лівої кнопки миші виділити показник який його цікавить. Натиснувши кнопку, налаштувати діапазон шляхом введення у

двох послідовних модульних вікнах заданого діапазону показника (рис. 5.7). Після введення діапазону поруч з назвою показника з'явиться прапорець про вибір даного показника. Якщо користувач передумав додавати той чи інший показник до розрахунків, йому необхідно прибрати прапорець поруч з назвою показника. Завершивши вибір показників користувач має натиснути кнопку прийняти параметри (рис. 5.7).

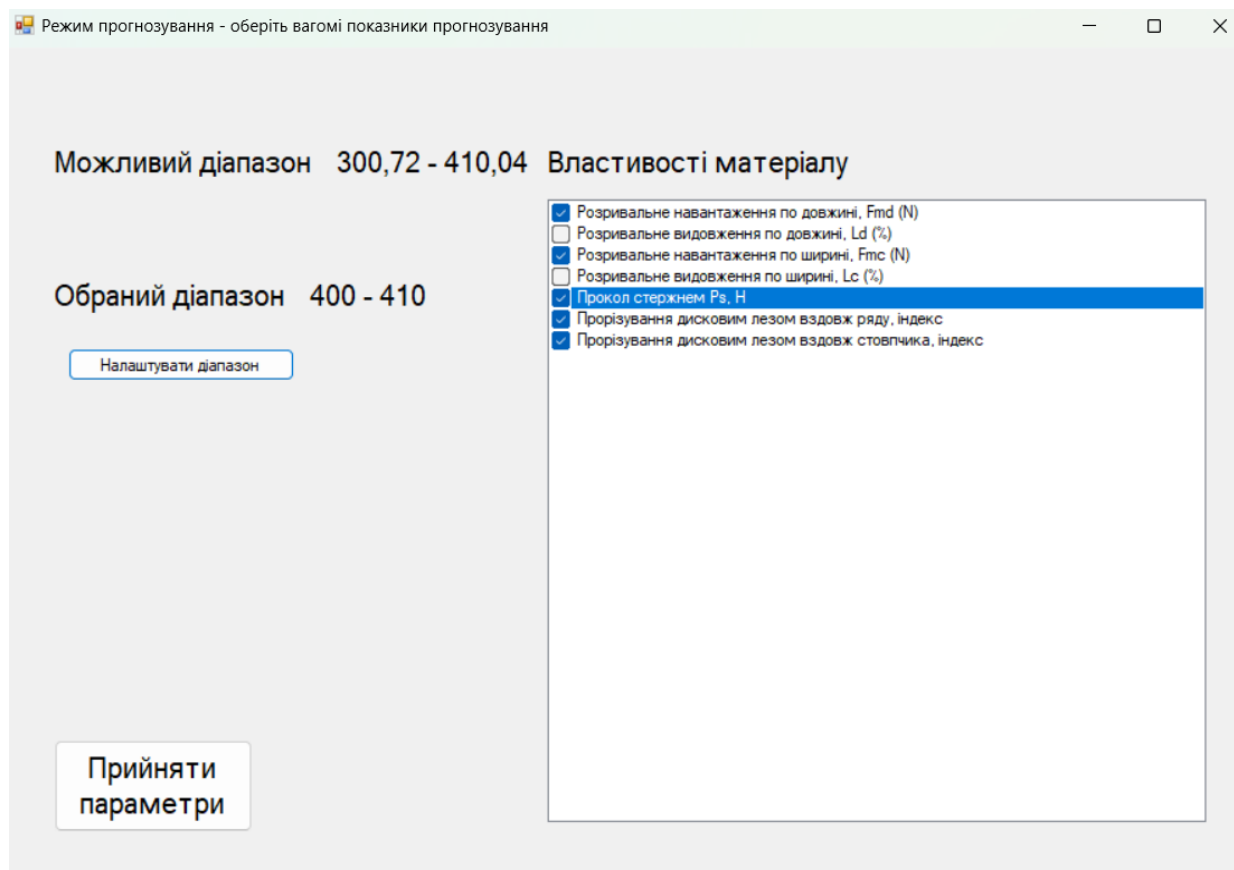


Рис.5.7 Вікно вкладки «Режим прогнозування», вибір можливого діапазону

Вікно «**Режим прогнозування – перегляд вагомних показників**». У цьому вікні користувач може побачити значення, попередньо ним обрані у вікні «Режим прогнозування – оберіть вагомні показники», а також розрахований спільний для обраних показників діапазон глибини кулірування «Прогнозований діапазон». Якщо одержаний прогнозований діапазон глибини кулірування влаштовує користувача, то у результаті натискання на кнопку «Прийняти параметри» програма обчислює усі показники якості в межах знайденого діапазону. Спільний діапазон глибини кулірування буде знайдений завжди.

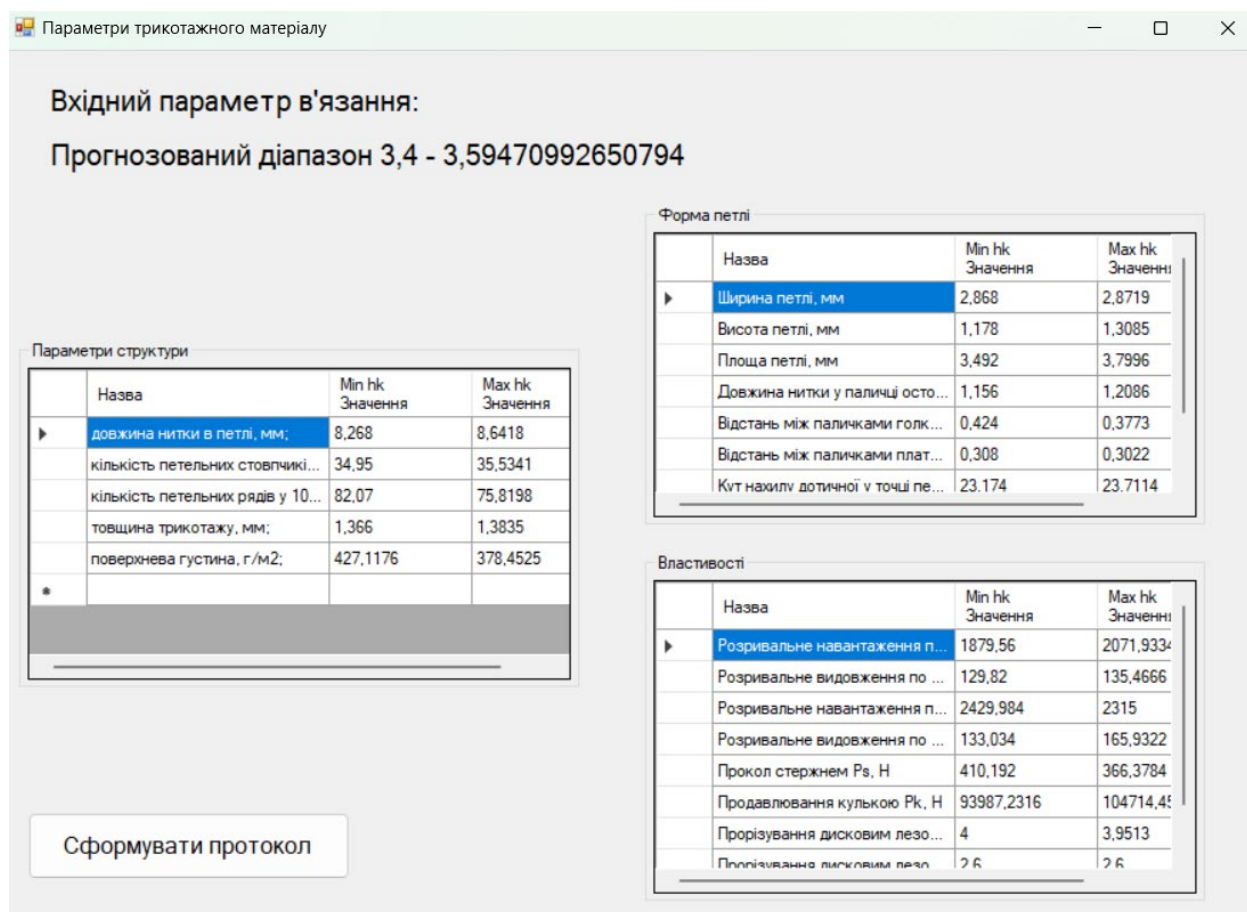


Рис.5.8 Вікно результатів вкладки «Режим прогнозування»

Вікно «Параметри трикотажного матеріалу». Це окреме вікно, яке активується при коректному введенні користувачем даних впродовж взаємодії з основним вікном (рис. 5.8). У даному вікні користувач має можливість переглянути результати обчислень та експортувати їх в *Microsoft Excel*, натиснувши на кнопку «Сформувати протокол». При натисканні кнопки «Сформувати протокол» з'являється діалогове вікно в якому можна обрати ім'я файлу та місце для збереження (рис. 5.9).

Обладнання - РА, матеріал - Високомолекулярна поліетиленова нитка UHMWPE										
Прогнозований діапазон: 3,4 - 3,5947										
Параметри структури			Форма петлі			Властивості				
довжина нитки в петлі, мм;	8,268	8,6418	Ширина петлі, мм	2,868	2,8719	Розривальне навантаження по довжині, Fmd (N)	1879,56	2071,93		
кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	34,95	35,5341	Висота петлі, мм	1,178	1,3085	Розривальне видовження по довжині, Ld (%)	129,82	135,467		
кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	82,07	75,8198	Площа петлі, мм	3,492	3,7996	Розривальне навантаження по ширині, Fmc (N)	2429,98	2315		
товщина трикотажу, мм;	1,366	1,3835	Довжина нитки у паличці остова петлі, мм	1,156	1,2086	Розривальне видовження по ширині, Lc (%)	133,034	165,932		
поверхнева густина, г/м2;	427,118	378,453	Відстань між паличками головної дуги, мм	0,424	0,3773	Прокол стержнем Ps, Н	410,192	366,378		
			Відстань між паличками платинової дуги, мм	0,308	0,3022	Продавлювання кулькою Pk, Н	93987,2	104714		
			Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	23,174	23,7114	Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, індекс	4	3,9513		
			Кут нахилу палички остова петлі, °	53,504	55,4433	Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, індекс	2,6	2,6		

Рис.5.9 Сформований протокол результатів в *Microsoft Excel*



З використанням розробленого програмного забезпечення проведено розрахунки, які виконано у двох режимах: *«Режим проектування»* та *«Режим прогнозування»*. Але саме *«Режим прогнозування»* дозволяє знайти раціональні параметри в'язання трикотажного матеріалу із заданими показниками стійкості до механічних ушкоджень. Під час виконання розрахунків у *«Режимі прогнозування»* нами, для здійснення пошуку раціональних параметрів в'язання обрано наступні показники: розривальне навантаження, прокол стержнем та прорізування дисковим лезом та встановлено найвищі їх значення. У результаті розрахунків визначено спільний діапазон вхідного параметра (глибина кулірування) та розраховано усі показники якості для одержаного діапазону. Протоколи розрахунків, виконаних за допомогою розробленого програмного забезпечення наведено у додатках А–Ж.

З використанням розробленої прикладної програми встановлено, що у разі вироблення трикотажного матеріалу на плоскофанговому напів-автоматі типу ПВРК без платин з використанням високомолекулярних поліетиленових ниток найкращого результату з найвищим рівнем стійкості до прорізування, проколу та опору розірванню можливо досягти у діапазоні глибини кулірування 3,42 – 3,50 мм У додатку Д наведено протокол розрахунку діапазонів значень усіх показників якості у відповідності до встановленого діапазону зміни глибини кулірування. У разі використання пара-арамідних ниток, досягнути найвищих показників стійкості до механічних впливів можливо у діапазоні зміни глибини кулірування 3,22 – 3,28 мм. Результати розрахунку показників якості в одержаному діапазоні зміни глибини кулірування наведено у додатку Е.

У разі вироблення трикотажного матеріалу на плосков'язальному обладнанні з платинами типу РА з використанням високомолекулярної поліетиленової нитки найкращого результату з найвищим рівнем стійкості до прорізування, проколу та опору розірванню можливо досягти у діапазоні зміни глибини кулірування 3,60 – 3,93 мм, у випадку використання пара-арамідних ниток в межах діапазону зміни глибини кулірування 3,67 – 3,68 мм. Протоколи розрахунків наведено у додатках Є та Ж відповідно.

## **Висновки до розділу 5**

1. Розроблено алгоритм та відповідне програмне забезпечення для розрахунку параметрів структури та властивостей трикотажу, а також пошуку раціональних параметрів в'язання трикотажу відповідно до заданих параметрів його структури та показників втрати міцності ниток після в'язання.

2. Прикладна програма дозволяє знайти найкращий діапазон значень глибини кулірування, при якому обрані параметри та властивості трикотажу набуватимуть таких значень, які б задовольняли поставленим вимогам до якості високоміцного трикотажу за умови знаходження одержаних значень у реально існуючому діапазоні.

3. Застосування даної програми в умовах виробництва дозволить технологу оперативно здійснювати розрахунок характеристик форми петель, параметрів структури та показників опору трикотажного матеріалу механічним впливам у відповідності до обраного рівня глибини кулірування. Крім цього виконання розрахунків у «Режимі прогнозування» дозволяє користувачу знайти спільний діапазон значень глибини кулірування, що дозволяє отримати трикотажний матеріал із заданими характеристиками стійкості трикотажного матеріалу до механічних впливів.

## **Список використаних джерел до розділу 5**

1. Безсмертна В. І. Удосконалення технології виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими властивостями : дис. ... д-ра філософії : спеціальність 182 - Технології легкої промисловості, галузь знань 18 - Виробництво та технології / Безсмертна Вікторія Ігорівна ; наук. кер. Л. Є. Галавська ; КНУТД. Київ, 2020. 276 с.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У ході досліджень теоретично обґрунтовано вплив особливостей протікання процесу петлетворення на плосков'язальному обладнанні з платинами та без на форму петель трикотажного матеріалу залежно від виду високоміцних ниток. Запропонована теоретична модель форми петлі на голках в'язальної машини (геометрії нитки в петлі) у відповідності до сили, прикладеної до ниткової структури у процесі петлетворення на плосков'язальному обладнанні з платинами та без, та фізико-механічних характеристик високоміцних ниток.

2. Шляхом реалізації активного експерименту одержані регресійні математичні залежності, що описують вплив зміни щільності в'язання трикотажного матеріалу (глибини кулірування) на характеристики форми петель, параметри структури та показники стійкості до дії механічних впливів (розривальне навантаження та видовження, прокол стержнем, продавлювання кулькою, поріз циркулярним ножом). Одержані регресійні залежності забезпечують формування банку даних (інформаційної бази) характеристик будови трикотажу, виробленого на двох типах плосков'язального обладнання з двох видів високоміцних ниток, та слугують основою для подальшого створення 3D моделей структури трикотажного матеріалу у відповідності до обраної глибини кулірування та їх використання у віртуальних експериментах з визначення механічних характеристик й прогнозування властивостей на етапі проектування.

3. Встановлено, що на розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки впливає як величина затискної довжини, так і розташування точки переплетення у разі проведення випробувань петлею. Величина питомого розривального зусилля у разі проведення досліджень петлею більша, ніж при дослідженні прямолінійних відрізків нитки.

4. За результатами проведених випробувань розривальних характеристик пара-арамідних ниток встановлено, що величина розривального навантаження корелюється з кількістю ниток, що опирається розриву. При цьому величина

відносного розривального видовження не залежить від кількості ниток. У ході дослідження розривальних характеристик пара-арамідних ниток лінійної густини 44текс у 6 кінців при їх паралельному розташуванні та петлею виявлено, що наявність точки переплетення у центрі проби призводить до зменшення величини розривального видовження у понад 1,5 рази. Встановлені закономірності дозволять у подальшому передбачити величину розривального зусилля на етапі проектування структури трикотажу в комп'ютерних системах імітаційного моделювання його механічних характеристик.

5. У ході досліджень встановлено, що за величиною розривального навантаження після в'язання на одиницю лінійної густини поліетиленова нитка показала кращі результати. У процесі переробки на в'язальному обладнанні поліетиленова нитка внаслідок особливостей будови вихідного полімеру стає більш податливою до розривального видовження, у порівнянні з пара-арамідною ниткою.

6. 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 WDW-5ES дослідні зразки трикотажного матеріалу, виготовлені з *UHMWPE* ниток на обладнанні без платин типу ПВРК не досягли моменту руйнування петельної структури внаслідок продавлювання кулькою.

7. При проколі стержнем, 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 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 стержнем та продавлювання кулькою.

8. Одержані результати експериментальних досліджень дозволили з'ясувати вплив типу в'язального обладнання на рівень стійкості трикотажного матеріалу до порізу. Виявлено, що усі дослідні зразки трикотажних матеріалів відповідають 2-му рівню стійкості до порізу. При цьому за умови в'язання на плосков'язальній машині типу ПВРК трикотажного матеріалу максимальної щільності з використанням високомолекулярних поліетиленових ниток можна досягти 3-го рівня стійкості до порізу завдяки тому, що у випадку загального зусилля відтягування трикотаж має більшу щільність по горизонталі і на одиницю довжини більша кількість відрізків нитки в області паличок петель опирається порізу.

9. На основі встановлених у роботі регресійних залежностей створено комп'ютерну програму розрахунку параметрів структури та властивостей, а також пошуку раціональних параметрів виготовлення трикотажного матеріалу (тип плосков'язального обладнання, вид високоміцних ниток) відповідно до заданих параметрів його структури та показників стійкості до дії механічних впливів.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

Протокол розрахунку показників якості трикотажно матеріалу у разі його вироблення на обладнанні без платин типу ПВРК з високомолекулярної поліетиленової нитки у «Режимі проектування»

Глибина кулірування $h_{kmin}=3,2$ мм	
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,35
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	49,11
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	54,31
Товщина трикотажу, мм;	1,14
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	343,87
<b>Характеристики форми петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,15
Висота петлі, мм	1,72
Площа петлі, мм	3,80
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм, Ліва	1,06
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм, Права	1,07
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° Ліва	28,96
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° Права	29,20
Кут нахилу палички остова петлі, ° Ліва	63,93
Кут нахилу палички остова петлі, ° Права	65,71
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2621,24
Розривальне видовження по довжині, %	72,57
Розривальне навантаження по ширині, N	1934,98
Розривальне видовження по ширині, %	268,34
Прокол стержнем, Н	464,76
Продавлювання кулькою, Н	—
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	5,27
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	2,0

## ДОДАТОК Б

Протокол розрахунку показників якості трикотажного матеріалу у разі його вироблення на обладнанні без платин типу ПВРК з пара-арамідної нитки у «Режимі проектування»

Глибина кулірування $h_{kmin}=3,09$ мм	
Параметри структури	
Довжина нитки в петлі, мм;	83,65
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	440,23
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	619,99
Товщина трикотажу, мм;	8,92
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	3368,26
Форма петлі	
Ширина петлі, мм	1,97
Висота петлі, мм	1,64
Площа петлі, мм	3,12
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - ліва паличка з нахилом в ліво	1,84
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - ліва паличка з нахилом в право	0,88
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - права паличка з нахилом в ліво	0,87
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - права паличка з нахилом в право	1,84
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,15
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,43
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - ліва паличка з нахилом в ліво	28,41
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - ліва паличка з нахилом в право	28,42
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - права паличка з нахилом в ліво	29,64
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - права паличка з нахилом в право	29,63
Кут нахилу палички остова петлі, ° - ліва паличка з нахилом в ліво	57,57
Кут нахилу палички остова петлі, ° - ліва паличка з нахилом в право	94,22



Продовження табл.

Кут нахилу палички остова петлі, ° - права паличка з нахилом в ліво	90,95
Кут нахилу палички остова петлі, ° - права паличка з нахилом в право	57,55
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2471,62
Розривальне видовження по довжині, %	89,45
Розривальне навантаження по ширині, N	1420,84
Розривальне видовження по ширині, %	203,63
Прокол стержнем, Н	543,95
Продавлювання кулькою, Н	3135,13
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	2,92
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	2,05

## ДОДАТОК В

Протокол розрахунку показників якості трикотажного матеріалу у разі його вироблення на обладнанні з платинами типу РА з високомолекулярної поліетиленової нитки у «Режимі проектування»

Глибина кулірування $h_{kmin}=3,55$ мм	
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,56
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	35,4
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	77,26
Товщина трикотажу, мм;	1,38
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	387,03
<b>Характеристики форми петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,87
Висота петлі, мм	1,28
Площа петлі, мм	3,73
Довжина нитки у паличці остова петлі мм,	1,20
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,39
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,30
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	23,59
Кут нахилу палички остова петлі, °	55,00
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2027,76
Розривальне видовження по довжині, %	134,17
Розривальне навантаження по ширині, N	2341,40
Розривальне видовження по ширині, %	158,38
Прокол стержнем, N	376,44
Продавлювання кулькою, N	4764,88
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	3,96
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	2,60

## ДОДАТОК Г

Протокол розрахунку показників якості трикотажного матеріалу у разі його вироблення на обладнанні з платинами типу РА з пара-арамідної нитки у «Режимі проектування»

Глибина кулірування $h_{kmin} = 3,4$ мм	
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,31
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	41,34
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	64,31
Товщина трикотажу, мм;	0,96
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	310,03
<b>Характеристики форми петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,50
Висота петлі, мм	1,57
Площа петлі, мм	3,84
Довжина нитки у паличці остова петлі мм	1,39
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,61
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,3
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	16,79
Кут нахилу палички остова петлі, °	68,04
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2090,65
Розривальне видовження по довжині, %	105,30
Розривальне навантаження по ширині, N	1399,15
Розривальне видовження по ширині, %	189,81
Прокол стержем, N	486,45
Продавлювання кулькою, N	3520,20
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	3,21
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	1,95

## ДОДАТОК Д

Протокол розрахунку показників якості за умови забезпечення максимально можливої стійкості до механічних ушкоджень трикотажного матеріалу, виробленого на обладнанні без платин типу ПВРК з поліетиленової нитки у «Режимі прогнозування»

Прогнозований діапазон зміни $h_k$ – 3,42 - 3,5 мм	Діапазон зміни показника
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,68 ÷ 8,82
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	47,26 ÷ 46,52
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	52,29 ÷ 51,47
Товщина трикотажу, мм;	1,12 ÷ 1,12
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	327,98 ÷ 321,56
<b>Форма петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,25 ÷ 2,29
Висота петлі, мм	1,88 ÷ 1,94
Площа петлі, мм	4,23 ÷ 4,40
Довжина нитки у паличці остова петлі мм, Ліва	1,12 ÷ 1,15
Довжина нитки у паличці остова петлі мм, Права	1,12 ÷ 1,14
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° Ліва	28,31 ÷ 28,04
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° Права	28,01 ÷ 27,52
Кут нахилу палички остова петлі, ° Ліва	65,13 ÷ 65,62
Кут нахилу палички остова петлі, ° Права	67,24 ÷ 67,86
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	3140,32 ÷ 3350,00
Розривальне видовження по довжині, %	78,82 ÷ 81,35
Розривальне навантаження по ширині, N	1820,70 ÷ 1774,53
Розривальне видовження по ширині, %	259,07 ÷ 255,32
Прокол стержнем, N	420,00 ÷ 401,92
Продавлювання кулькою, N	більше 5000
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	5,10 ÷ 5,04
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	2,0 ÷ 2,0

## ДОДАТОК Е

Протокол розрахунку показників якості за умови забезпечення максимально можливої стійкості до механічних ушкоджень трикотажного матеріалу, виробленого на обладнанні без платин типу ПВРК з пара-арамідної нитки у «Режимі прогнозування»

Прогнозований діапазон зміни $h_k$ – 3,22 - 3,28 мм	Діапазон зміни показника
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,16 ÷ 8,25
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	43,69 ÷ 43,15
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	60,36 ÷ 59,89
Товщина трикотажу, мм;	0,88 ÷ 0,87
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	331,59 ÷ 327,46
<b>Форма петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,02 ÷ 2,04
Висота петлі, мм	1,74 ÷ 1,78
Площа петлі, мм	3,30 ÷ 3,37
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - ліва паличка з нахилом в ліво	1,91 ÷ 1,94
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - ліва паличка з нахилом в право	0,92 ÷ 0,94
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - права паличка з нахилом в ліво	0,97 ÷ 1,01
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм - права паличка з нахилом в право	1,86 ÷ 1,87
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,13 ÷ 0,13
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,45 ÷ 0,47
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - ліва паличка з нахилом в ліво	27,41 ÷ 26,97
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - ліва паличка з нахилом в право	27,24 ÷ 26,73
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - права паличка з нахилом в ліво	28,47 ÷ 27,95
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, ° - права паличка з нахилом в право	29,02 ÷ 28,75

Продовження табл.

Кут нахилу палички остова петлі, ° - ліва паличка з нахилом в ліво	56,80 ÷ 56,47
Кут нахилу палички остова петлі, ° - ліва паличка з нахилом в право	93,26 ÷ 92,83
Кут нахилу палички остова петлі, ° - права паличка з нахилом в ліво	89,58 ÷ 88,98
Кут нахилу палички остова петлі, ° - права паличка з нахилом в право	57,01 ÷ 56,76
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2560,72 ÷ 2600,00
Розривальне видовження по довжині, %	90,90 ÷ 91,53
Розривальне навантаження по ширині, N	1353,18 ÷ 1323,35
Розривальне видовження по ширині, %	194,41 ÷ 190,34
Прокол стержнем, Н	500,00 ÷ 480,62
Продавлювання кулькою, Н	3360,62 ÷ 3402,72
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	2,96 ÷ 2,97
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	2,03 ÷ 2,02

## ДОДАТОК Є

Протокол розрахунку показників якості за умови забезпечення максимально можливої стійкості до механічних ушкоджень трикотажного матеріалу, виробленого на обладнанні з платинами типу РА з поліетиленової нитки у «Режимі прогнозування»

Прогнозований діапазон зміни $h_k$ – 3,6 - 3,93 мм	Діапазон зміни показника
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,65 ÷ 9,28
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	35,55 ÷ 36,53
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	75,62 ÷ 65,16
Товщина трикотажу, мм;	1,38 ÷ 1,41
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	377,40 ÷ 363,13
<b>Форма петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,87 ÷ 2,88
Висота петлі, мм	1,31 ÷ 1,53
Площа петлі, мм	3,82 ÷ 4,32
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм	1,21 ÷ 1,30
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,38 ÷ 0,30
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,30 ÷ 0,29
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	23,73 ÷ 24,63
Кут нахилу палички остова петлі, °	55,50 ÷ 58,75
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2077,99 ÷ 2400,00
Розривальне видовження по довжині, %	135,64 ÷ 145,10
Розривальне навантаження по ширині, N	2311,38 ÷ 2118,91
Розривальне видовження по ширині, %	166,97 ÷ 222,04
Прокол стержем, Н	365,00 ÷ 291,66
Продавлювання кулькою, Н	4785,04 ÷ 4439,42
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	3,95 ÷ 3,87
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	2,6 ÷ 2,6

## ДОДАТОК Ж

Протокол розрахунку показників якості за умови забезпечення максимально можливої стійкості до механічних ушкоджень трикотажного матеріалу, виробленого на обладнанні з платинами типу РА з пара-арамідної нитки у «Режимі прогнозування»

Прогнозований діапазон зміни $h_k$ – 3,67 - 3,68 мм	Діапазон зміни показника
<b>Параметри структури</b>	
Довжина нитки в петлі, мм;	8,75 ÷ 8,76
Кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу	40,19 ÷ 40,16
Кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	58,22 ÷ 58,02
Товщина трикотажу, мм;	0,99 ÷ 0,99
Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	294,25 ÷ 293,74
<b>Форма петлі</b>	
Ширина петлі, мм	2,61 ÷ 2,62
Висота петлі, мм	1,75 ÷ 1,76
Площа петлі, мм	4,58 ÷ 4,60
Довжина нитки у паличці остова петлі, мм	1,47 ÷ 1,47
Відстань між паличками голкової дуги, мм	0,65 ÷ 0,65
Відстань між паличками платинної дуги, мм	0,49 ÷ 0,49
Кут нахилу дотичної у точці переплетення, °	17,70 ÷ 17,73
Кут нахилу палички остова петлі, °	69,79 ÷ 69,85
<b>Властивості</b>	
Розривальне навантаження по довжині, N	2244,98 ÷ 2250,00
Розривальне видовження по довжині, %	108,65 ÷ 108,76
Розривальне навантаження по ширині, N	1300,49 ÷ 1297,28
Розривальне видовження по ширині, %	211,27 ÷ 211,97
Прокол стержем, Н	412,58 ÷ 410,17
Продавлювання кулькою, Н	3463,98 ÷ 3460,11
Прорізування дисковим лезом вздовж ряду, (індекс)	3,29 ÷ 3,29
Прорізування дисковим лезом вздовж стовпчика, (індекс)	1,94 ÷ 1,94



## ДОДАТОК 3



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ, 01011, тел./факс: 280-05-12, тел. 256-84-23  
E-mail: knutd@knutd.edu.ua Web: http://www.knutd.edu.ua Код ЄДРПОУ 02070890

17.06.2024 № 05-05/1221

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**ДОВІДКА**

**про впровадження у Київському національному університеті технологій та дизайну  
результатів дисертаційної роботи  
«Технологічні засади виготовлення на плосков'язальному обладнанні трикотажних  
матеріалів для захисту від механічних ушкоджень»  
здобувачки ступеня доктора філософії  
зі спеціальності 182 Технології легкої промисловості  
Дмитрик Оксани Михайлівни**

Упродовж 2020-2024 рр. на базі Київського національного університету технологій та дизайну Дмитрик Оксаною Михайлівною виконувалося дисертаційне дослідження, результати якого впроваджено в освітній процес у рамках освітньої компоненти «Наукові основи проектування та прогнозування характеристик виробів легкої промисловості», як дисципліни вільного вибору здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти. Дана дисципліна викладається аспірантам другого року навчання, які проходять підготовку за освітньо-науковою програмою «Технології легкої промисловості» у рамках спеціальності 182 Технології легкої промисловості.

Одержані у ході виконання дисертаційного дослідження матеріали використовуються при вивченні наступних тем зазначеної освітньої компоненти: Тема 1. Методи проектування і прогнозування властивостей і показників якості текстильних матеріалів та виробів легкої промисловості; Тема 3. Багатокритеріальні задачі оптимального управління технологічним процесом виготовлення виробів легкої промисловості. Крім того, розроблене аспіранткою програмне забезпечення використовується при виконанні практичної роботи №3 на тему «Вирішення питання пошуку раціональних параметрів в'язання трикотажу з прогнозованими властивостями» для демонстрації можливих шляхів заощадження людських та сировинних ресурсів у ході проектування й прогнозування параметрів структури та властивостей трикотажних матеріалів спеціального призначення, вироблених з високоміцних ниток.

Використання одержаних у дисертаційному дослідженні Дмитрик О.М. результатів в освітньому процесі сприяє набуттю аспірантами, які навчаються за спеціальністю 182 Технології легкої промисловості, компетентностей щодо побудови плану дослідження з метою визначення залежності показників якості текстильних матеріалів від факторів їх формування; прогнозування показників якості текстильних матеріалів; забезпечення науково-обґрунтованого процесу проектування характеристик виробів легкої промисловості; використання регресійних математичних моделей для опису та прогнозування технологічних процесів виробництва текстильних матеріалів та здійснення їх якісного та кількісного аналізу.

Проректор з наукової та  
інноваційної діяльності  
д.е.н., проф.

Людмила ГАНУЩАК-ЄФІМЕНКО



## ДОДАТОК І

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

## Наукові праці, у яких відображені основні наукові результати дисертації

1. Боброва С. Ю., Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Розривальні характеристики комплексної поліетиленової нитки. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 4. С. 51–59. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.4.5>. *Особистий внесок: постановка та реалізація експериментальних досліджень, формулювання висновків.*

2. Дмитрик О. М., Боброва С. Ю., Галавська Л. Є., Єліна Т. В. Дослідження розривальних характеристик комплексної пара-арамідної нитки. *Технології та інжиніринг*. 2022. № 6. С. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.6.6>. *Особистий внесок: постановка та реалізація експериментальних досліджень, формулювання висновків.*

3. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Вплив технологічних факторів одержання трикотажу з високоміцних ниток на форму петель та параметри його структури. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 5. С. 76–85. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.6>. *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

4. 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. 79–95. DOI: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.2.8>. *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

5. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Боброва С. Ю. Опір різанню трикотажного матеріалу, виробленого з високоміцних ниток на плосков'язальному обладнанні з платинами та без. *Індустрія моди*. 2024. № 2, С. 43–59. DOI: 10.30857/2706-5898.2024.2 *Особистий внесок: проведення*

*експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

6. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є., Харченко Ю. М. Вплив типу плосков'язального обладнання на показники стійкості трикотажного матеріалу з високоміцних ниток до дії механічних ушкоджень (прокол стержнем, продавлювання кулькою). *Технології та інжиніринг*. 2024. № 3 (19). С. 81–98. DOI: 10.30857/2786-5371.2024.3. *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

### **Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації**

7. Дмитрик О. М., наук. кер. Галавська Л. Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на форму петель трикотажу з сировини підвищеної міцності. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVII Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів (26-27 квітня 2018 р., Київ)*. Київ: КНУТД, 2018. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 266–267. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11920> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

8. Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності параарамідних ниток після в'язання. *Молодь - науці і виробництву 2019: Інноваційні технології легкої промисловості: мат. міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених (16-17 травня 2019 р., Херсон)*. Херсон: ХНТУ, 2019. С. 49–51. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14521> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка одержаних результатів, формулювання висновків.*

9. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Дослідження впливу виду надміцної сировини на показники втрати міцності після в'язання. *Збірник матеріалів III міжнар. наук.-практ. конф текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (31 жовтня 2019 р., Київ). Київ : КНУТД, 2019. С. 257–261. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14811> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, формулювання висновків.*

10. Дмитрик О. М., наук. кер. Галавська Л. Є. Дослідження впливу особливостей виконання операції кулірування на плосков'язальному обладнанні на якість петельної структури трикотажу, виробленого з параараміної нитки у поєднанні з металевою монониткою. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVIII Всеукр. наук. конф. молодих вчених та студентів* (18-19 квітня 2019 р., Київ). Київ: КНУТД, 2019. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 221–222. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13641> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

11. Галавська Л. Є., Прохоровський А. С., Швиданенко О. А., Дмитрик О. М. Впровадження інноваційних технологій виготовлення речового майна військовослужбовців. *Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України: зб. тез доповідей II Всеукр. наук.-практ. конф.* (30 квітня 2021 р., м. Харків). Харків: НАНГУ, 2021. С. 5–8. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19037> (дата звернення: 13.06.2024). *Особистий внесок: проведення аналізу наукової літератури за напрямом досліджень, постановка завдань досліджень.*

12. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. Study of factors influencing loss of strength of high molecular weight polyethylene threads. *Збірник матеріалів V Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion* (21 жовтня 2021 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2021. С. 89–91. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19106>. *Особистий внесок:*

*виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

13. Dmytryk O., Bobrova S., Halavska L. The influence of knitting parameters on the parameters of the structure and shape of the loop of knitted material from high-strength threads. *Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (20 жовтня 2022 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2022. р. 56–58 URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/21269> (дата звернення: 13.06.2024).*  
*Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

14. Галавська Л., Боброва С., Дмитрик О. Аналіз показників якості текстильних матеріалів військового призначення, що визначають їх захисні характеристики від механічних небезпек. *Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні Херсонщини : мат. міжнар. наук.-практ. конф. (ХНТУ, 26–28 квітня 2023 р.). Т. 1 Одеса : Олді+, 2023. С. 443–446 URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/24993> (дата звернення: 13.06.2024).*  
*Особистий внесок: проведення аналізу наукової літератури за напрямом досліджень, постановка завдань досліджень.*

15. Halavska L., Dmytryk O. Influence of technological factors on the loop formation and structure parameters of knitwear made on glove knitting machine. *Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн-технологій KyivTex&Fashion (м. Київ, 19 жовтня 2023 р.). Київ: КНУТД, 2023. С. 213–215. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/25443> (дата звернення: 13.06.2024).*  
*Особистий внесок: виготовлення дослідних зразків, проведення експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів.*

### **Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

16. Ielina T., Halavska L., Mikucioniene D., Milasius R., Bobrova S., Dmytryk O. Development of 3D Models of Knits from Multi-Filament Ultra-Strong Yarns for

Theoretical Modelling of Air Permeability. *Materials*. 2021. № 14 (13). 3489. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14133489>. *Особистий внесок: проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, виготовлення дослідних зразків з високоміцних ниток.*

17. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу в'язального обладнання на показники втрати міцності поліетиленових та параарамідних ниток після в'язання. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2020. Т. 1. № 1 (72). С. 89–96. DOI: [doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.9](https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.9). *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів.*

18. Дмитрик О. М., Безсмертна В. І., Галавська Л. Є. Вплив типу плосков'язального обладнання на петельну структуру трикотажу, виробленого з сировини підвищеної міцності та у поєднанні з металевією монониткою. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2020. № 1 (281). С. 98–104. DOI 10.31891/2307-5732-2020-281-1-98-104. *Особистий внесок: постановка та проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, узагальнення одержаних результатів.*

19. 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. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.4.12>. *Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів.*

## ДОДАТОК К

### Відомості про апробацію результатів дисертації

1. XVII Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення» (26-27 квітня 2018 р., Київ, КНУТД). *Очна форма участі з представленням доповіді та опублікуванням тез.*

2. Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молодь - науці і виробництву - 2019: Інноваційні технології легкої промисловості» (м. Херсон, 16-17 травня 2019 року). *Заочна форма участі з опублікуванням тез.*

3. III Міжнародна науково-практична конференція текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (31 жовтня 2019 р., м. Київ, КНУТД). *Очна форма участі з представленням доповіді та опублікуванням тез.*

4. XVIII Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення» (18-19 квітня 2019 р., Київ). *Очна форма участі з представленням доповіді та опублікуванням тез.*

5. II Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України» (м. Харків, 30 квітня 2021 р.). *Заочна форма участі з опублікуванням тез.*

6. V Міжнародній науковій конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (21 жовтня 2021 р., м. Київ, КНУТД). *Очна форма участі з представленням доповіді та опублікуванням тез.*

7. VI Міжнародній науковій конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (м. Київ, 20 жовтня 2022 р., КНУТД). *Очна форма участі з представленням доповіді та опублікуванням тез.*

8. Міжнародній науково-практичній конференції «Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні Херсонщини» (ХНТУ, 26–28 квітня 2023 р.). *Заочна форма участі з опублікуванням тез.*

9. VII Міжнародній науково-практичній конференції текстильних та фешн-технологій KyivTex&Fashion (м. Київ, 19 жовтня 2023 року, КНУТД). *Очна форма участі з представленням доповіді та опублікуванням тез.*