

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

**БЕЗСМЕРТНА ВІКТОРІЯ ІГОРІВНА**

УДК 677.017.4

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ  
З ВИСОКОМІЦНИХ НИТОК КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ  
З ПРОГНОЗОВАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Спеціальність 182 – Технології легкої промисловості  
Галузь знань 18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

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

Безсмертна В.І.

Науковий керівник Галавська Людмила Євгенівна, доктор технічних наук,  
професор

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Безсмертна В.І.* Удосконалення технології виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими властивостями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 18 Виробництво та технології за спеціальністю 182 Технології легкої промисловості. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2020.

Дисертація присвячена удосконаленню існуючих методів та засобів прогнозування на етапі проектування характеристик структури й властивостей кулірного трикотажу з високоміцних ниток та втрати їх міцності відповідно до параметрів в'язання на плосков'язальному обладнанні.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є прогнозування на етапі проектування характеристик структури та властивостей кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого на плосков'язальному обладнанні з високоміцних ниток.

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

- проаналізувати дослідження у сфері виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток та прогнозування його властивостей на етапі проектування;

- встановити закономірності впливу параметрів в'язання на параметри структури кулірного трикотажу, виробленого з параарамідних й високомолекулярних поліетиленових ниток, та показники втрати їх міцності після в'язання;

- визначити раціональні параметри в'язання трикотажу відповідно до заданих параметрів його структури та показників втрати міцності ниток;

- встановити закономірності впливу кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя» та лінійної густини параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток на втрату їх міцності;

- розробити методику прогнозування втрати міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток у процесі їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні;

- створити геометричні 3D моделі кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток у вільному та максимально розтягнутому стані вздовж лінії петельного ряду або стовпчика;

- розробити методику визначення показників якості трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання.

**Об'єкт дослідження** – процес виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими властивостями.

**Предмет дослідження** – удосконалення технології виготовлення з параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з прогнозованими властивостями.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Отримані в процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили розв'язати важливе науково – прикладне завдання удосконалення існуючих методів та засобів прогнозування характеристик структури й властивостей кулірного трикотажу з високоміцних ниток та втрати їх міцності відповідно до параметрів в'язання на плосков'язальному обладнанні. При цьому:

- одержано математичні моделі, що описують вплив параметрів в'язання трикотажу на параметри його структури й показники втрати міцності параарамідної та високомолекулярної поліетиленової ниток після в'язання;

- вперше запропоновано методику визначення опору втомі високоміцних ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя», що

відповідають навантаженню на нитку у процесі її переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні;

- розроблено геометричні 3D моделі структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток, в умовно–рівноважному стані та при одновісному максимальному розтягненні вздовж лінії петельного стовпчика або ряду;

- запропоновано методику визначення показників якості трикотажу в системах комп'ютерного моделювання з використанням тривимірних геометричних моделей (3D моделей) його структури.

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

- на основі одержаних регресійних математичних залежностей визначено раціональні параметри в'язання трикотажу відповідно до заданих параметрів його структури та показників втрати міцності ниток;

- забезпечено можливість прогнозування втрати міцності ниток у процесі їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик відповідно до заданих параметрів в'язання на основі розробленої методики визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»;

- забезпечено можливість проведення в системах комп'ютерного моделювання віртуальних експериментів з визначення характеристик кулірного трикотажу на основі розроблених геометричних 3D моделей його структури, що виключає необхідність виготовлення дослідних зразків трикотажу та проведення випробувань з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими властивостями.

Окремі положення, висновки та рекомендації, представлені в дисертаційному дослідженні, знайшли практичне застосування в освітньому процесі кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів Київського

національного університету технологій та дизайну, зокрема при опануванні аспірантами спеціальності 182 Технології легкої промисловості освітньої компоненти «3D моделювання у текстильному виробництві».

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження. Вказана наукова новизна та практична 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, де також визначені напрямки та основні задачі дослідження.

Основні положення роботи викладені у розділах 2–4.

**Другий розділ** присвячений встановленню регресійних математичних залежностей, що описують вплив параметрів в'язання трикотажу на параметри його структури та показники втрати міцності ниток після в'язання. Для побудови моделей реалізовано повний трифакторний експеримент. З використанням одержаних регресійних математичних залежностей розроблено комп'ютерну програму 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.

**Третій розділ** присвячено розробці методики визначення опору втомі високоміцних ниток у результаті дії протягом деякого часу циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя». Шляхом експериментальних досліджень встановлено величину попереднього навантаження параарамідних та поліетиленових ниток під час визначення опору втомі під дією обраних циклічних навантажень. Встановлено математичні залежності, що описують вплив кількості циклів навантаження на втрату міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток. Виявлено характер впливу лінійної густини високоміцних ниток на втрату їх міцності внаслідок дії циклічних навантажень. Одержані кореляційні залежності дозволяють

встановити кількість циклів навантаження, що відповідає втраті міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток при заданих параметрах в'язання кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого на плосков'язальному обладнанні.

**Четвертий розділ** присвячено побудові тривимірних геометричних моделей (3D моделей) кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого на плосков'язальному обладнанні з параарамідних і високомолекулярних поліетиленових ниток, в умовно–рівноважному стані й при максимальному одновісному розтягненні вздовж лінії петельного стовпчика або ряду та розробці методики визначення показників його якості в системах комп'ютерного моделювання з використанням одержаних 3D моделей його структури.

При цьому експериментальним шляхом встановлено особливості формоутворення петель з параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток внаслідок їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні. На підставі одержаних геометричних характеристик петель побудовані тривимірні геометричні моделі, які описують геометрію нитки в структурі трикотажу в умовно–рівноважному та деформованому станах.

Для перевірки їх адекватності проведено експеримент з визначення повітропроникності дослідних зразків трикотажу на приладі FF–12 та 3D моделей структури трикотажу у комп'ютерному середовищі. У програмному забезпеченні Autodesk Simulation CFD попередньо задані умови, які відповідають реальному експерименту з визначення повітропроникності текстильних матеріалів на приладі FF–12, а саме: діаметр труби, тиск на вході та об'єм повітря. Після обробки даних реального та віртуального експериментів виявлено, що максимальне відхилення даних, одержаних у комп'ютерному середовищі від даних реального експерименту становить 7%. Таким чином, одержані тривимірні геометричні моделі структури трикотажу з параарамідних та високоміцних поліетиленових ниток можна вважати

адекватними та рекомендувати їх для використання в запропонованій методиці визначення характеристик структури та властивостей трикотажу в системах комп'ютерного моделювання. Це дозволяє, у свою чергу, виключити необхідність виготовлення на в'язальному обладнанні дослідних зразків трикотажу з високоміцних ниток та проведення випробувань з визначення його властивостей з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими фізико – механічними характеристиками.

**Публікації.** Основні положення і результати дисертаційного дослідження відображено у 14 наукових працях, серед яких 4 статті у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародної науко – метричної бази Scopus, 2 у збірнику матеріалів міжнародної конференції, 1 стаття у іншому виданні України та 6 тез доповідей. Наукові публікації відповідають вимогам п. 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167).

**Ключові слова:** трикотаж підвищеної міцності, параарамідна нитка, високомолекулярна поліетиленова нитка, 3D моделі структури трикотажу, втрата міцності, CFD моделювання.

## ANNOTATION

*Bezmertna V. I.* Improvement of the production technology of weft knitted fabrics with predictable properties, made of high–strength threads. – Qualifying scientific paperwork with the manuscript copyright.

The PhD thesis for a Doctor of Philosophy in a field of 18 Production and technologies on a specialty 182 Technologies of light industry. – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2020.

The thesis is devoted to improving existing methods and tools at the design stage for prognostication the characteristics of structure and properties of weft knitted fabrics of high–strength threads and loss of its strength according to the parameters of knitting on flat knitted equipment.

**The study purpose and objectives.** The work aims to predict the characteristics of the structure and properties of weft knitted fabrics at the design stage, such as plain weave and rib 1+1, made on flat knitting equipment from high–strength threads.

To achieve this goal, the following research tasks are solved and defended:

- to review research in the field of production of weft knitted fabrics from high–strength para–aramid and high–molecular polyethylene threads and prognostication its properties at the design stage;
- to define common patterns regularities of influence of parameters of knitting on parameters of structure of the weft knitted fabrics made of para–aramid and high–molecular polyethylene threads and indicators of loss of strength after knitting;
- to determine the rational parameters of knitting knitwear by the specified parameters of its structure and indicators of threads' strength loss;
- to define common patterns of influence of the quantity of loadings cycles "stretching–bending–friction" and linear density of para–aramid and high–molecular polyethylene threads on losing their strength;
- to develop a method for prognostication the loss of strength of para–aramid and high–molecular polyethylene threads in their processing into the structure of weft knitted fabrics (plain weave and rib 1+1) on flat knitted equipment;



- to create geometric 3D models of weft knitted fabrics from high–strength para–aramid and polyethylene threads in a free and maximally stretched state along the line of a loop row or column (course or wale);
- to develop a method for determining the quality of knitwear using developed 3D models of its structure in computer simulation systems.

**The study object** is the process of making weft knitted fabrics of high–strength threads with predictable properties.

**The study subject** – improving manufacturing technology of weft knitted fabrics of high–molecular polyethylene and para–aramid threads with predictable properties.

**The scientific novelty of the obtained results.** The scientific results obtained in the research process in aggregate allowed to solve an important scientific applied problem of improving existing methods and means of prognostication the characteristics of the structure and properties of weft knitted fabrics from high–strength threads and loss of their strength in accordance with the parameters of knitting on flat knitted equipment. With:

- mathematical models describing the influence of knitting parameters of knitwear on the parameters of its structure and indicators of strength loss of para–aramid and high–molecular polyethylene threads after knitting are obtained;
- for the first time is used a method of determining the fatigue resistance of high–strength threads due to the action of cyclic loads "stretching–bending–friction", corresponding to the load on the thread during its processing into a knitted fabric (plain weave and rib 1+1) on flat knitting equipment;
- geometric 3D models of the structure of prototypes of knitted fabrics (plain weave and rib 1+1), produced from high–strength para–aramid and high–molecular polyethylene threads, in a conditionally equilibrium state and at maximum uniaxial stretch along the wale or course have been developed;
- the technique of definition of fabric quality indicators in computer modeling systems using three–dimensional geometrical models (3D models) of its structure is offered.

**The practical significance of the results of work** consists of the following:

- based on the obtained regression mathematical dependencies, rational settings for a fabric knitting according to set parameters of its structure and strength loss performance are determined;
- based on the developed method for determining the fatigue resistance of high-strength threads under the action of cyclic loads "tension–bending–friction", it is possible to prognosticate the loss of strength of the threads during their processing into a knitted fabric;
- the possibility to conduct virtual experiments in computer modeling systems to assess the characteristics of weft knitted fabrics based on the developed geometric 3D models of its structure, which eliminates the need to make prototypes of fabrics and tests to create textile material with predictable properties was assured.

Some of provisions, conclusions, and recommendations presented in the dissertation research have found practical application in the educational process of the Department of Technology and Design of Textile Materials of Kyiv National University of Technologies and Design, in particular in mastering by graduate students the majoring in 182 Technology of light industry educational component "3D modeling in textile production".

**The introduction** substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the purpose and objectives of the study. The scientific novelty and practical value of the obtained results are indicated. Information on approbation of work, the personal contribution of the applicant, as well as publications are given. The connection of work with scientific programs and topics is indicated.

**The first chapter** provides an overview of the works on the dissertation topic, which also identifies the direction and main objectives of the study.

The main provisions of the work are set out in chapters 2–4.

**The second chapter** is devoted to the mathematical regression dependencies that describe the impact of knitting parameters on fabric structure and thread strength loss performance after the knitting process. A complete three-factor experiment was implemented to build the models. Using the obtained mathematical regression

dependencies, a computer program was developed to calculate the parameters of knitted fabrics' structure and properties and find rational parameters knitting knitwear according to set parameters of its structure and thread strength loss performance.

**The third chapter** is devoted to developing a method for determining the fatigue resistance of high-strength threads due to the action of cyclic loads "stretching-bending-friction" in a certain amount of time. Experimental studies established the value of the preload of para-aramid and polyethylene threads during the determination of fatigue resistance under the action of selected cyclic loads. Mathematical dependences describing the influence of the number of load cycles on the loss of strength of para-aramid and high molecular weight polyethylene threads have been established. The nature of the linear density influence of high-strength threads on their strength loss due to cyclic loads is revealed. The obtained correlation dependencies allow specifying the number of load cycles, which corresponds to the loss of strength of para-aramid and high-molecular polyethylene threads at the given parameters of weft knitting fabric, produced on flat knitted equipment.

**The fourth chapter** is devoted to the construction of three-dimensional geometric models (3D models) of knitwear, produced on flat knitted equipment from para-aramid and high-molecular polyethylene threads in a conditional equilibrium and at maximum uniaxial stretching along wale and course. As well as the development of quality indicators determination techniques in computer modeling systems using the obtained 3D models of its structure.

At the same time, the features of the formation of loops from para-aramid and high-molecular polyethylene threads as a result of their processing into the knitted fabric (rib 1 + 1 and plain weave) on flat knitting equipment were experimentally established. Based on the obtained geometric characteristics of the loops, three-dimensional geometric models are constructed that describe the geometry of the thread in the structure of knitwear in conditional equilibrium and deformed states.

To verify whether the models are adequate tools, an experiment was performed to determine the air permeability of experimental samples of knitwear on

the device FF–12 and 3D models of knitwear structure in a computer environment. Autodesk Simulation CFD software presets conditions that correspond to a real experiment to determine the air permeability of textiles on the FF–12 were used, namely: pipe diameter, inlet pressure, and air volume. After processing the data of real and virtual experiments, the maximum deviation of the data obtained in the computer environment from the actual experimental data is 7%. Thus, the obtained three–dimensional geometric models of the structure of knitwear from para–aramid and high–strength polyethylene threads can be considered adequate and recommended for use in the proposed method for determining the characteristics of the structure and properties of knitwear in computer simulation systems. This, in its turn, eliminates the need to manufacture prototypes of knitwear from high–strength threads and conduct tests to determine its properties in order to create a textile material with predictable physical and mechanical characteristics.

**Publications.** The main principles and results of the dissertation research are reflected in 14 scientific works, including 4 articles in scientific professional Ukrainian publications and 1 article in the publication, which is part of the international scientific–metric database Scopus, 2 in the collection of international conferences, 1 article in another Ukrainian publication and 6 abstracts. Scientific publications meet paragraph 11 of the Procedure requirements for conducting an experiment for awarding the degree of Doctor of Philosophy (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of March 6, 2019 № 167).

**Keywords:** high–strength knitwear, para–aramid thread, high–molecular polyethylene thread, 3D models of knitwear structure, loss of strength, CFD modeling.

### Список публікацій здобувача

1. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V. and Halavska L. The use of 3D geometric models in special purpose knitwear design and predicting of its properties. *Vlákná a textil* (Fibres and Textiles). 2018. Vol. 25. № 2. P. 19–26

(Особистий внесок – проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, постановка завдань досліджень).

<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9778>

2. 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 (Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів).

<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13263>

3. Bezsmertna V.I., Ielina T.V., Halavska L.Ie. Analysis of CFD simulation opportunities for determination of knitwear qualitative characteristics. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. Серія: Технічні науки. 2017. № 3 (110). С. 49–56 (Особистий внесок – проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, постановка завдань досліджень). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/6804>

4. 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. 80–86 (Особистий внесок – постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15147>

5. 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. № 1 (72), Ч.1. С.89–96 (Особистий внесок – постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/15148>

6. Безсмертна В.І., Єліна Т.В., Галавська Л.Є. Моделювання процесу проходження повітря крізь трикотаж. *Технології та дизайн*. 2014. № 4(13).

URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2014\\_4\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2014_4_2). (Особистий внесок – розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, моделювання процесу).

7. Безсмертна В.І., Боброва С.Ю., Галавська Л.Є. Втрата міцності параарамідних ниток в процесі в'язання кулірного трикотажу. *KyivTex&Fashion*: зб. матеріалів II Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій (1–2 листопада 2018 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2018. С. 247–250 (Особистий внесок – постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/12345>

8. Безсмертна В.І., Єліна Т.В., Галавська Л.Є. Метод аналізу показників якості кулірного трикотажу з використанням сучасних інформаційних технологій. *Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність*: тези доповідей II Міжнародної науково–практичної конференції (27–28 жовтня 2016 р. м. Київ). Херсон: ХНТУ, 2016. С. 195–196 (Особистий внесок – розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/3828>

9. Боброва С.Ю., Нестеренко А.О., Безсмертна В.І. Використання комп'ютерних технологій у моделюванні складних фізико–механічних процесів поведінки текстильних матеріалів при різних умовах експлуатації. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі*: тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27–28 квітня 2017 р., м. Київ). К.: КНУТД, 2017. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 312–313 (Особистий внесок – розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9055>

10. 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. *Fibre – Grade Polymers, Chemical Fibres and Special Textiles. 2017: Book of Abstracts of 9th Central European Conference (September 11th–13th 2017, Liberec). Liberec: Czech Republic Technical University of Liberec, 2017. P. 108–109* (Особистий внесок – проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, постановка завдань досліджень).

<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/8435>

11. Боброва С.Ю., Афанасьєва О.В., Безсмертна В.І. Перспективи розвитку текстильної м'якої броні у засобах індивідуального бронезахисту. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (26–27 квітня 2018 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2018. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 270–271* (Особистий внесок – проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, постановка завдань досліджень).

<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11918>

12. Безсмертна В.І., Офіщєрова С.В., Галавська Л.Є. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності надмолекулярної поліетиленової нитки після в'язання. *Молодь – науці і виробництву – 2018: Інноваційні технології легкої промисловості: матеріали міжнародної науково–практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (17–18 травня 2018р. м. Херсон). Херсон: ХНТУ, 2018. С. 36–39* (Особистий внесок – постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9768>

13. Дмитрик О.М., Безсмертна В.І., Галавська Л.Є. Дослідження впливу виду надміцної сировини на показники втрати міцності після в'язання. *KyivTex&Fashion: збірник матеріалів III Міжнародної науково–практичної конференції текстильних та фешн технологій (31 жовтня 2019 р., м. Київ). Київ: КНУТД, 2019. С. 257–261* (Особистий внесок – постановка

експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків).

<https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14811>

14. Безсмертна В.І., Галавська Л.Є., Боброва С.Ю. Вплив умов в'язання трикотажу на міцність параарамідних і поліетиленових ниток. *Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно–косметичної галузей промисловості: матеріали III Всеукраїнської науково–практичної конференції*(5–6 червня 2019 р., м. Херсон). Херсон: ХНТУ, 2019. С. 22–24 (Особистий внесок – постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків). <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14551>



## ЗМІСТ

	<b>ВСТУП</b>	21
<b>РОЗДІЛ 1.</b>	<b>СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	27
1.1	Аналіз видів надміцних ниток, їх властивості та сфери застосування	27
1.1.1	Характеристика властивостей параарамідних ниток та фірм–виробників	27
1.1.2	Нитки на основі UHMWPE – високомолекулярні поліетиленові нитки	31
1.2	Аналіз чинників, що впливають на втрату міцності високоміцних ниток	34
1.3	Аналіз досліджень у сфері виготовлення трикотажу з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток	37
1.4	Аналіз методів геометричного моделювання структури кулірного трикотажу	40
1.5	Аналіз існуючого програмного забезпечення для цілей визначення якісних характеристик об’єкта – трикотажу з високоміцних ниток на етапі його проектування	47
	Висновки та постановка завдань досліджень	51
	Список використаних джерел до розділу 1	53
<b>РОЗДІЛ 2.</b>	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ ПЕРЕПЛЕТЕНЬ ГЛАДЬ ТА ЛАСТИК, ВИРОБЛЕНОГО З ПАРААРАМІДНИХ ТА ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ НИТОК, ТА ВТРАТИ ЇХ МІЦНОСТІ ПІСЛЯ В’ЯЗАННЯ</b>	66

2.1	Математичне моделювання параметрів та властивостей кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високоміцних ниток	66
2.1.1	Встановлення впливу умов в'язання на параметри структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з параарамідних ниток	68
2.1.2	Встановлення впливу умов в'язання на параметри структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з поліетиленових ниток	74
2.2	Вплив параметрів в'язання на характеристики міцності високоміцних ниток після їх переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик	80
2.2.1	Встановлення впливу умов в'язання трикотажу на характеристики міцності параарамідних ниток	83
2.2.2	Встановлення впливу умов в'язання трикотажу на характеристики міцності високомолекулярних поліетиленових ниток	87
2.3	Розробка комп'ютерних засобів проектування кулірного трикотажу підвищеної міцності з заданими параметрами структури та характеристиками втрати міцності ниток після в'язання	90
	Висновки до розділу 2	101
	Список використаних джерел до розділу 2	103
<b>РОЗДІЛ 3.</b>	<b>РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ</b>	<b>105</b>
	<b>ВТОМІ НИТОК ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ У</b>	
	<b>РЕЗУЛЬТАТІ ДІЇ ПРОТЯГОМ ДЕЯКОГО ЧАСУ</b>	
	<b>ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ «РОЗТЯГУВАННЯ–</b>	
	<b>ВИГИН–ТЕРТЯ»</b>	

3.1	Метод визначення втомних властивостей ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»	106
3.1.1	Принцип роботи навантажувальної установки для випробування кордних ниток типу 5–24–1	106
3.1.2	Принцип оцінювання стійкості нитки до дії циклічних навантажень	107
3.1.3	Відбирання проб і підготовка випробних та контрольних зразків	107
3.2	Визначення кількості циклічних навантажень для встановлення втомних властивостей високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток	108
3.3	Розробка методики визначення втрати міцності ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» відповідно до умов в'язання	116
3.3	Висновки до розділу 3	127
3.4	Список використаних джерел до розділу 3	130
<b>РОЗДІЛ 4.</b>	<b>ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ В СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ</b>	<b>131</b>
4.1	Особливості використання систем комп'ютерного моделювання у прогнозуванні властивостей трикотажу у деформованому стані	131
4.2	Конфігурація осьової лінії нитки петлі трикотажу при одновісному розтягненні	133
4.3	Верифікація мезомоделей трикотажу переплетень ластик 1+1 та гладь у максимально напруженому стані	136

4.4	Визначення повітропроникності трикотажних полотен підвищеної міцності з використанням сучасних комп'ютерних систем	143
4.5	Макромодель трикотажу переплетення ластик 1+1	149
	Висновки до розділу 4	153
	Список використаних джерел до розділу 4	154
	Загальні висновки	156
	Додатки	160

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У час відстоювання територіальної цілісності на Сході нашої держави розробка якісних текстильних матеріалів з прогнозованими споживними характеристиками для потреб оборонно–промислового комплексу є одним з пріоритетних завдань текстильної галузі України. На сьогоднішній день питання впливу особливостей протікання технологічних процесів виробництва на характеристики формоутворення елементів структури трикотажу та втрату міцності ниток після в'язання, а також на фізико–механічні характеристики трикотажу вивчені недостатньо. Вирішення питання адекватності математичного опису структури проєктованого трикотажу та створення його тривимірних геометричних моделей (3D моделей) для проведення віртуальних експериментів в системах комп'ютерного моделювання дозволяє, у свою чергу, виключити необхідність виготовлення на в'язальному обладнанні дослідних зразків трикотажу з високоміцних ниток та проведення випробувань з визначення його властивостей з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими фізико–механічними характеристиками. Тому робота, направлена на удосконалення технології виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими характеристиками структури й властивостями та рівнем втрати міцності ниток відповідно до заданих параметрів в'язання є актуальною та відповідає потребам виробництва у сфері надміцного текстилю.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у рамках українсько–литовського науково–дослідного проєкту «Трикотажні матеріали для засобів індивідуального захисту від механічних пошкоджень та дії полум'я (акронім – PERPROKNIT)», державний реєстраційний номер: 0120U103797, за пріоритетним напрямом «Технології оборонного спрямування» (2020–2021 рр.), який виконується спільно з

науковцями інституту оборонних технологій факультету інженерної механіки та проектування Каунаського технологічного університету.

**Мета і завдання дослідження.** У роботі визначено мету, яка полягає у прогнозуванні на етапі проектування характеристик структури та властивостей кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого на плосков'язальному обладнанні з високоміцних ниток.

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

- проаналізувати дослідження у сфері виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток та прогнозування його властивостей на етапі проектування;

- встановити закономірності впливу параметрів в'язання на параметри структури кулірного трикотажу, виробленого з параарамідних й поліетиленових ниток, та показники втрати їх міцності після в'язання;

- визначити раціональні параметри в'язання трикотажу відповідно до заданих параметрів його структури та показників втрати міцності ниток;

- встановити закономірності впливу кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя» та лінійної густини параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток на втрату їх міцності.

- розробити методику прогнозування втрати міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток у процесі їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні;

- створити геометричні 3D моделі кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток у вільному та максимально розтягнутому стані вздовж лінії петельного ряду або стовпчика;

- розробити методику визначення показників якості трикотажу з використанням розроблених 3D моделей структури трикотажу в системах комп'ютерного моделювання.

**Об'єкт дослідження** – процес виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими властивостями.

**Предмет дослідження** – удосконалення технології виготовлення з параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з прогнозованими властивостями.

**Методи дослідження.** У ході досліджень використано наступні методи: системне опрацювання та аналіз науково–технічної та патентної літератури у напрямку вирішення проблеми отримання трикотажу підвищеної міцності з прогнозованими показниками якості; дослідження технічних методів та засобів прогнозування властивостей трикотажу на етапі його проектування; методи математичного моделювання для розв'язання задачі встановлення взаємозв'язку між параметрами в'язання трикотажу, його структурними характеристиками та втратою міцності ниток у процесі в'язання, методи геометричного моделювання структури трикотажу, методи комп'ютерного моделювання.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в тому, що отримані в процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили розв'язати важливе науково–прикладне завдання удосконалення існуючих методів та засобів прогнозування характеристик структури й властивостей кулірного трикотажу з високоміцних ниток та втрати їх міцності відповідно до параметрів в'язання на плосков'язальному обладнанні.

При цьому:

- одержано математичні моделі, що описують вплив параметрів в'язання трикотажу на параметри його структури й показники втрати міцності параарамідної та високомолекулярної поліетиленової ниток після в'язання;
- вперше запропоновано методику визначення опору втомі високоміцних ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–

вигин–тертя», що відповідають навантаженню на нитку у процесі її переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні;

- розроблено геометричні 3D моделі структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток, в умовно–рівноважному стані та при одновісному максимальному розтягненні вздовж лінії петельного стовпчика або ряду;

- запропоновано методику визначення показників якості трикотажу в системах комп'ютерного моделювання з використанням тривимірних геометричних моделей (3D моделей) його структури.

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

- на основі одержаних регресійних математичних залежностей визначено раціональні параметри в'язання трикотажу відповідно до заданих параметрів його структури та показників втрати міцності ниток;

- забезпечено можливість прогнозування втрати міцності ниток у процесі їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик відповідно до заданих параметрів в'язання на основі розробленої методики визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»;

- забезпечено можливість проведення в системах комп'ютерного моделювання віртуальних експериментів з визначення характеристик кулірного трикотажу на основі розроблених геометричних 3D моделей його структури, що виключає необхідність виготовлення дослідних зразків трикотажу та проведення випробувань з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими властивостями.

Окремі положення, висновки та рекомендації, представлені в дисертаційному дослідженні, знайшли практичне застосування у освітньому процесі кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів Київського



національного університету технологій та дизайну, зокрема при опануванні аспірантами спеціальності 182 Технології легкої промисловості освітньої компоненти «3D моделювання у текстильному виробництві».

**Особистий внесок здобувача** полягає у запропонованих методиках прогнозування втрати міцності ниток у процесі в'язання та фізико–механічних характеристик кулірного трикотажу на етапі його проєктування; створенні тривимірних геометричних моделей (3D моделей) в умовно–рівноважному та максимально напруженому стані для їх подальшого використання в системах комп'ютерного моделювання фізичних процесів.

У статтях та тезах доповідей, виконаних із співавторами, особистий внесок претендента полягає у проведенні аналітичних та експериментальних досліджень, а також в обробці отриманих результатів дослідження.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертації доповідались, обговорювались та здобули позитивну оцінку на II міжнародній науково–практичній конференції «Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність», (м. Херсон, ХНТУ, 27–28 жовтня 2016р.); XVI всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» (м. Київ, КНУТД, 27–28 квітня 2017р.); 9th Central European Conference 2017 «Fibre – Grade Polymers, Chemical Fibres and Special Textiles» (Liberec, Czech Republic, Technical University of Liberec, September 11th–13th, 2017); XVII всеукраїнській науковій конференції молодих вчених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі» (м. Київ, КНУТД, 26–27 квітня, 2018р.); міжнародній науково–практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молодь – науці і виробництву – 2018: Інноваційні технології легкої промисловості» (м. Херсон, ХНТУ, 17–18 травня 2018р.); Міжнародній науковій конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion (м. Київ, КНУТД, 2018 р., 2019р.); III Всеукраїнській науково–практичній конференції «Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно–косметичної галузей промисловості» (м. Херсон,

ХНТУ, 5–6 червня 2019р.); 49<sup>th</sup> IFKT International Congress «Stepping into the future» (Lodz, Poland, 2<sup>th</sup>– 4<sup>th</sup> October, 2018).

Дисертація доповідалась повністю і здобула позитивну оцінку на науковому семінарі кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів КНУТД (м. Київ, 18.06.2020 р.), на науковому семінарі з попередньої експертизи дисертації на базі кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів із залученням провідних спеціалістів з інших структурних підрозділів (м. Київ, 28.08.20 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 14 наукових праць, в яких повністю відображені основні результати дисертації, з них 4 статті у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України та 1 стаття у періодичному науковому виданні, що входить до наукометричної бази Scopus. Наукові публікації відповідають вимогам п. 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167. В публікаціях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать основні ідеї опублікованих праць, теоретичне обґрунтування, результати експериментів та їх обробка, узагальнення результатів і висновки. Тези доповідей висвітлюють результати наукових досліджень, виконаних безпосередньо здобувачем у рамках виконання дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, анотацій, чотирьох розділів з висновками та списком використаних літературних джерел, загальних висновків та додатків. Основну частину дисертації викладено на 159 сторінках друкованого тексту, у тому числі 70 рисунків 28 таблиць, додатки становлять 114 сторінок. Повний обсяг дисертації складає 273 сторінки.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **1.1 Аналіз видів надміцних ниток, їх властивості та сфери застосування**

Одним з найважливіших завдань у соціально–економічній сфері будь–якої держави є забезпечення здорових та безпечних умов праці. Особливо це стосується професій, де для забезпечення комфортних робочих умов робітників є потреба у спеціальному захисному одязі, наприклад, військові, пожежні, рятувальники. Згідно з ДСТУ 7239:2011 до текстильних засобів індивідуального захисту відносяться [1]: гетри; захисні рукавиці; безпальчикові рукавиці; надолонники; нарукавники; налокітники; наплічники; назап'яски; захисний одяг від різних впливів; захисний одяг від різних ушкоджень.

Для пошиття такого одягу та аксесуарів потрібні матеріали, які мають відповідні властивості, такі як жорсткість, збереження розмірів після волого–теплової обробки, стійкість на розрив, стійкість на роздирання, повітропроникність, гігроскопічність тощо. Однак, окрім зазначених, найважливішою вимогою, що висувається до захисного одягу всіх типів, вважається саме характеристика міцності матеріалів, з яких їх виготовлено.

Серед ниток, що мають необхідні властивості міцності, можна зазначити параарамідні та високомолекулярні поліетиленові нитки.

##### **1.1.1 Характеристика властивостей параарамідних ниток та фірм–виробників**

Розвиток високомолекулярної хімії забезпечило створення нових полімерних матеріалів, які за фізико–механічними характеристиками помітно перевершують традиційно використовувані метали. Природно, що подібні полімерні матеріали викликали інтерес у фахівців для виготовлення виробів, що захищають людину від балістичної та механічної поразки. Найбільш часто

з цією метою використовуються арамідні волокна під торговими назвами Кевлар, Тварон, Технора, СВМ, Армос, Терлон [2–5].

Вперше арамідне волокно стало виготовлятися в Америці в 1964 році, фірмою DuPont під торговою назвою кевлар. Його використовували як армуючий матеріал в композитних матеріалах та кабелях, в автомобілебудуванні, для виготовлення робочих рукавичок, які не можна було порізати або проколоти. Військова промисловість знайшла застосування кевларових волокон у виробництві бронежилетів, касок та інших предметів ЗІЗ [6]. Волокно кевлар в п'ять разів міцніше за сталь при рівній вазі, тому воно є найкращим матеріалом для виготовлення засобів індивідуального захисту та спецодягу.

Арамідні волокноутворюючі полімери отримують методом поліконденсації діамінів і гало–генангідридів дикарбонових кислот в розчині при низькій температурі. Прядіння здійснюється з розчинів в сильних кислотах (зокрема, у виробництві кевлару використовується концентрована сірчана кислота) по «сухо–мокрому» способу. Волокноутворюючі полімери отримують швидким додаванням хлор ангідридів дикарбонових кислот до холодного ( $5...10^{\circ}\text{C}$ ) розчину діаміну при інтенсивному перемішуванні. Утворений при цьому полімер у вигляді крихти або гелю потім подрібнюється, промивається і висушується. При формуванні волокон і ниток розчин очищеного полімеру в сильній кислоті екструдується через філь'єру при підвищеній температурі ( $51...100^{\circ}\text{C}$ ) і після проходження повітряного прошарку (товщиною  $5...19$  мм) потрапляє в осаджувальну ванну з холодною ( $0...4^{\circ}\text{C}$ ) водою (рис. 1.1) [7].

Властивості волокна можуть варіюватися в залежності від зміни природи використаного розчинника, умов ниткоформування, а також при наступних термічних обробках свіжесформованих волокон.

Аналогічним кевлару можна вважати волокно під торговою назвою тварон. Його нова марка – "Тварон СТ Мікрофіламент", яка відрізняється від звичайного Тварону великою кількістю філаментів в комплексній нитці (1000

замість 750) та їх меншою лінійною щільністю (9,3 замість 15 мтекс). Це дозволило створити захисний жилет на 23% легше раніше виготовленого зі стандартного волокна Тварону (маса захисного пакету для жилету 5,6 кг/м<sup>2</sup> замість 7,3). Жилет став не тільки легшим, але і більш гнучким, м'яким і зручним при носінні.

Арамідне волокно під торговою назвою Технора японського виробництва має досить високу міцність та модуль пружності та велике розривне видовження – до 5%. Міцність волокна Технора при високій швидкості розтягування помітно зростає (з 25 до 50 г/деньє при швидкості розтягування 103 см/с), тобто його міцність при ударі підвищується. Однак, стійкість Технора до горіння трохи нижче, ніж у інших фірм виробників.

Нитки СВМ російського виробництва за способом отримання та властивостями схожі з Технора. Тому можна стверджувати, що їх поведінка при ударних навантаженнях аналогічна, хоча СВМ має більшу міцність та модуль пружності (на 15–20%) та більш високу КІ (30–31%), завдяки чому відрізняється від Технора більш високими захисними властивостями.

Волокно Терлон (Росія), яке використовується для виготовлення бронежилетів, є аналогічним Кевлару, і тому йому притаманні всі властивості останнього. Правда, слід зазначити, що Терлон сорбує менше вологи (3,5% при 65% –й відносній вологості), ніж Кевлар.

Волокно Армос (Росія) серед відомих п–арамідних волокон має найвищу міцність (до 5500 МПа) та модуль пружності (до 145 ГПа) і поступається тільки Кевлару–129 (160 ГПа) і Терлону (180 ГПа). Відмінність Армосу від інших п–арамідних волокон полягає в його меншому вологопоглинанні (3,5% замість 7 при 65%–ій відносній вологості). Таким чином, можна стверджувати, що волокна типу Армос серед п–арамідних волокон найбільшою мірою відповідають вимогам до матеріалів, що застосовуються для виготовлення бронежилетів.

Дуже важливим показником механічних властивостей матеріалів є так звані питомі характеристики або ставлення міцності та модуля деформації до

щільності (прийнятий показник оцінки питомої міцності матеріалів – "розривна довжина" в кілометрах). Для різних видів Армос ці показники знаходяться в межах від 250 до 380 км. Це означає, що, якщо підвісити нитку такої довжини, то вона витримає власну вагу. У воді при різниці щільності волокна і води  $0,44 \text{ г/см}^3$  цей показник збільшується більш ніж в три рази. Іншими словами, питома міцність Армос в кілька разів вище, ніж найміцнішого сталевого дроту, а також звичайних видів високоміцних технічних ниток та інших матеріалів.

Нитки Армос мають високі термічні характеристики, їх робочі температури при тривалій експлуатації  $250\text{--}270^\circ \text{C}$ , а протягом обмеженого часу  $300\text{--}330^\circ \text{C}$ . Дуже важливий показник – повна відсутність усадки до температур  $300\text{--}350^\circ \text{C}$ , а при температурі  $400\text{--}450^\circ \text{C}$  усадка не більше 3–4%. Важлива особливість Армос – негорючість на повітрі та стійкість до дії відкритого полум'я – кисневий індекс (вміст кисню в навколишньому середовищі, при якому матеріал може спалахнути) становить 38–43%; він практично такий, як для СВМ–волокон, що на 10–15 одиниць вище, ніж у всіх інших видів арамідних волокон. Волокна Армос можуть довго зберігатися без зміни властивостей, незначно змінюються властивості в мокрому стані, стійкі до тривалого перебування у воді, біостійкі. Такого матеріалу серед арамідів з одночасно з максимальною міцністю та стійкістю до дії відкритого вогню немає. Застосування Армос найдоцільніше у тих видах композитних матеріалів та виробках, які повинні мати максимальну міцність за мінімальної ваги.

Русар (Росія). Ці нитки виробляють лінійної густини 29,4; 58,8; 100; 110 і 167 текс, характеризуються високою відносною міцністю (230–300 сН/текс), високим модулем пружності (100–140 ГПа), низьким видовженням при розриві (2,6–3%) та використовуються в основному в засобах балістичного захисту – як у вигляді м'якої, так і жорсткої броні, а також в композиційних матеріалах, таких як судини для зберігання стисненого водню та кисню, підшипники ковзання та ін.

Переваги параарамідних ниток:

- висока термостійкість – волокна не плавляться, нитка починає руйнуватися тільки за температури вище 500°C, але, незважаючи на це, вироби з арамідів витримують тепловий удар короточасного впливу в 1000°C;
- надміцність – у п'ять разів міцніший за сталь, витримує понад 600 кг на кв. мм на розрив;
- легкість – у два рази легше скловолокна, щільність полотна становить 1500 кг/м<sup>3</sup>;
- біостійкість – не вбирає в себе різного роду запахи, що не піддається впливу бактерій та грибків.

Недоліки:

- висока ціна;
- «страх» води – при намоканні міцнісні властивості волокон знижуються у два рази, при висиханні нитки відновлюють свої параметри.
- старіння – як правило, виробники дають ниткам 5 років гарантії на збереження своїх властивостей. Однак, застосовуючи різні способи обробки, можна домогтися практично повного усунення двох останніх недоліків. Так, наприклад, виробники Таврону стверджують, що домоглися надійного захисту від води та гарантують не менше 10-ти років стабільної експлуатації.

Особливістю арамідів є відсутність крихкості – такої, яка характерна для високоміцних скляних або вуглецевих волокон. Якщо подивитися на характер їх руйнування, то арамідів при цьому розщеплюються на тонкі фібрили уздовж волокон, зберігаючи первинні властивості при розтягуванні. У той же час скляні та вуглецеві волокна руйнуються в поперечному напрямку, що призводить до руйнування виробів.

### **1.1.2 Нитки на основі UHMWPE – високомолекулярні поліетиленові нитки**

Високомолекулярні поліетиленові нитки (НВМПЕ) мають унікальний комплекс фізико-механічних властивостей. Завдяки високій зносостійкості,

стійкості в агресивних середовищах, низькому коефіцієнту тертя, високій ударній в'язкості, рекордно низькій температурі крихкості (до  $-200^{\circ}\text{C}$ ), що дозволяє створювати вироби з нього для роботи в екстремальних умовах, затребувані у самих різноманітних сферах життєдіяльності людини. До надвисокомолекулярного відносять поліетилен з молекулярною масою понад 1000 000 г/моль [8].

Здатність поглинати енергію удару є однією з унікальних властивостей НВМПЕ, і цим обумовлено його використання в системах індивідуального та колективного захисту, захисту орбітальних станцій від метеоритів та космічного сміття.

У час, коли були розроблені та вперше вироблені параарамідні нитки Кевлар, в Голландії відкрили спосіб виробництва високоміцних волокон з НВМПЕ високої щільності, щоправда, промислове виробництво ниток вдалося налагодити лише через 10 років. Волокно, вироблене компанією—першовідкривачем, отримало торгову назву Дунеета, та вважається у даний момент одним із найміцніших волокон у світі.

Таким чином, Дунеета® – це зареєстрована компанією DSM NV торгова марка волокна НВМПЕ. Зустрічаються різні назви НВМПЕ високої міцності (Ultra-high molecular weight polyethylene, UHMW PE), такі як: High modulus polyethylene, High performance polyethylene, НМРЕ (високомодульний поліетилен), НРРЕ (поліетилен високої якості). У промисловості НВМПЕ почали використовувати в другій половині 20 століття. Майже 10 років учені шукали способи промислового виробництва Дунеета®, в результаті розроблено метод синтезу волокон «гель-формування», або інакше «гель-прядіння».

Надвисока молекулярна маса (більш 2 млн) надає волокнам унікальні властивості: практично нульова розтяжність; надвисока міцність; несприйнятливості до вологи та інших розчинників; чудова зносостійкість; стійкість до стирання; висока стійкість до впливів ультрафіолету; висока



стійкість до масел; висока морозостійкість; стійкість до агресивних природних речовин та середовищ; низький коефіцієнт тертя; невелика вага.

У даний момент, крім Dyneema® DSM, виробництво надміцних волокон з НВМПЕ успішно діє в США (компанія Honeywell, волокно Spectra®), зі змінним успіхом в Китаї, були спроби виробництва в Росії. Процес отримання волокон не такий простий, технологія гель-формування має свої складності, зокрема з розчиненням матеріалу та подальшим видаленням розчинника. У Європі більш популярне волокно Dyneema®, в Америці – Spectra®. Обидва вони за своєю суттю одне і те ж саме, з незначними відмінностями в обробці.

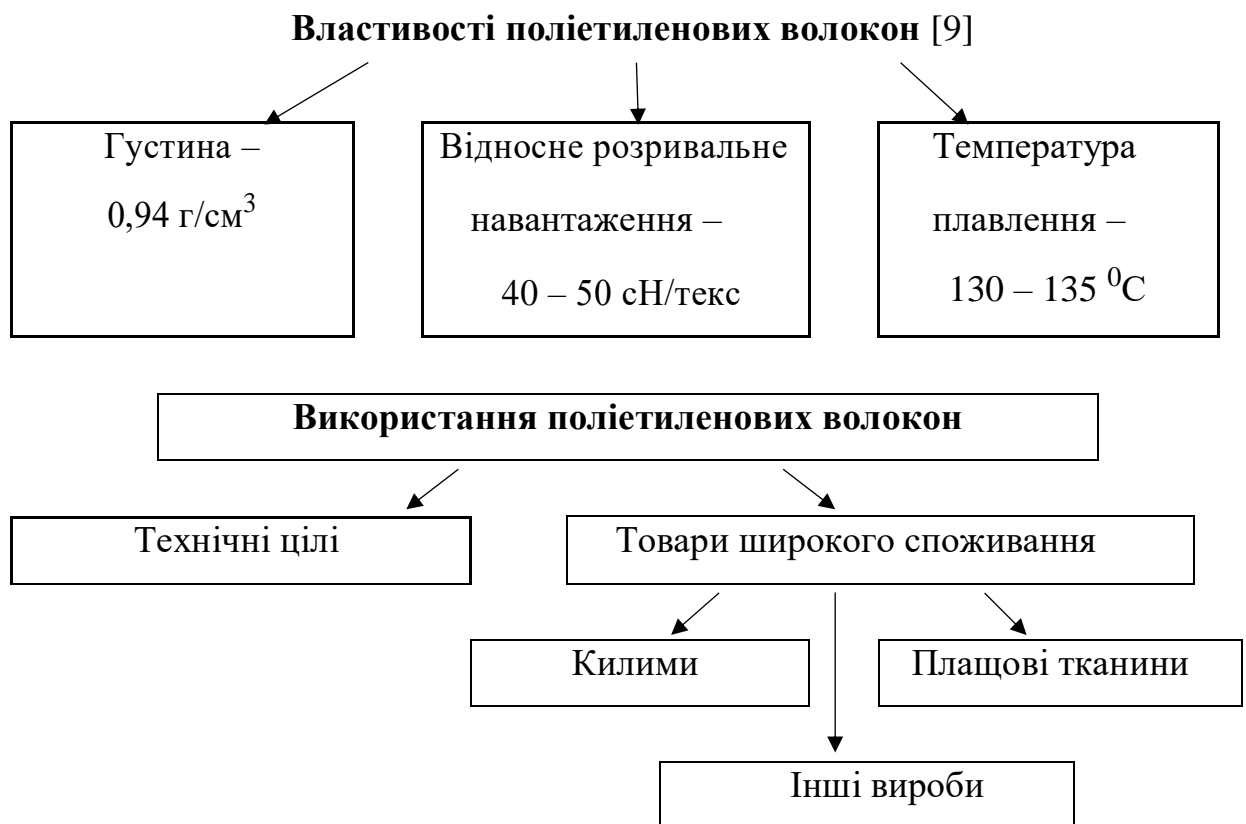


Рис. 1.1 Блок-схема властивостей та сфер застосування поліетиленових ниток

Тепер розглянемо поліетиленові нитки у порівнянні з параарамідними. За міцністю на розрив параарамідні нитки поступаються поліетиленовим, тому треба чітко розуміти, що параарамід в силу своїх властивостей більше призначений до витримування навантаження не на розрив, а на стиск, та відповідно частіше використовується в шолохах, бронежилетах та захисних

конструкціях. За стійкістю до стирання обидва волокна показують чудові результати, а ось у стійкості до УФ (у тому числі простого сонячного світла) параарамід програє. Але головний мінус арамідів – це звичайно його взаємодія з водою. При намоканні міцність параараміду зменшується майже в 2 рази, при висиханні повністю не відновлюється. Крім того, взимку арамід використовувати проблематично. Якщо всередині параарамідного волокна залишаться часточки вологи, вони кристалізуються і призводять до пошкодження структури волокна і відповідно втрати його міцності. Як вже було сказано, поліетилен з водою не взаємодіє, а з огляду на позитивну плавучість (тобто здатність плавати на воді), троси та канати з поліетиленового волокна все частіше використовують у якості швартових.

## **1.2 Аналіз чинників, що впливають на втрату міцності високоміцних ниток**

Параарамідні нитки серед усіх органічних видів сировини мають найбільш високі експлуатаційні характеристики, відрізняються високими значеннями міцності та модуля пружності. Вони стійкі до впливу полум'я, високих температур, органічних розчинників, нафтопродуктів. Крім того, арамідні волокна менш крихкі у порівнянні з вуглецевими та скляними волокнами та придатні для переробки на звичайному обладнанні текстильних виробництв [10]. Завдяки своїм міцнісним властивостям параарамідні нитки використовують для виготовлення канатів, надміцних тросів, засобів індивідуального захисту та у виробництві авіаційної та космічної техніки. Оскільки міцність даних виробів є одним з найважливіших показників, то є необхідність визначення міцнісних характеристик арамідних ниток після їх переробки у текстильний матеріал та виявлення факторів, які впливають на їх втрату.

Питанням міцнісних властивостей трикотажних полотен займалися вчені усього світу [11–28], однак питанням втрати міцності в процесі переробки нитки у полотно не досить вивчене. Групою вчених [29–31]

визначено втрату міцності виробів з параарамідних ниток під впливом різних чинників: зносу, дії вологи, температури та інших факторів. У роботі [29] параарамідні нитки випробувано на стійкість до дії світлопогоди в лабораторних умовах на приладі ПДС. У якості об'єктів дослідження обрано 4 зразки високоміцних параарамідних ниток Русар, що призначені для виготовлення засобів балістичного захисту. Після кожного циклу впливу здійснено розрахунок лінійної густини ниток та вимір їх механічних характеристик. У ході досліджень виявлено, що зі збільшенням тривалості інсоляції лінійна густина ниток Русар зростає, так як відбувається їх набухання під дією температури та вологості, а міцність зменшується.

У роботах [32–33] авторами встановлено вплив умов експлуатації на механічні властивості параарамідних ниток, а саме короткочасну та тривалу дію температури, хімічних середовищ, вплив іонізуючого випромінювання, вологи та інших атмосферних факторів. Після впливу факторів досліджено розривні характеристики ниток та встановлено, що кожен фактор відображається на міцнісних властивостях нитки та встановлено, що найбільший вплив має дія вологи.

Авторами іншої роботи [34] досліджено вплив води на міцність параарамідних ниток різних виробників під час розтягу та розриву петлею і затягнутої вузлом. Встановлено, що нитка з вузлом втрачає міцність значно більше, ніж нитка без переломів та згинів. Крім того, міцність витягнутих з води параарамідних ниток знижується на 22%.

У роботі [35] науковцями встановлено залежність величини розривального зусилля від швидкості руху нижнього затискача розривної машини. У ході дослідження впливу швидкості руху затискача на розрив виявлено, що міцність пара–арамідних ниток зростає за лінійним законом, і з ростом швидкості розтягування збільшується розривальне навантаження та знижується повне розривальне видовження. Крім того, авторами встановлено, що підготовлена для розриву нитка, змотана безпосередньо з бобіни, має більше розривальне навантаження, ніж та, яку перед розривом зв'язували у

вузол. Це пояснюється тим, що при зав'язуванні вузла нитка змінює напрямок і відбувається деформування філаментів, тому і розривальне навантаження значно менше.

Автори Т.С. Боровик та Т.І. Шейнова у своїй роботі [36] дослідили втрату міцності ниток у процесі снування. Авторами встановлено причини зниження міцності ниток основи у процесі формування ткацького навою. У ході спостережень за процесом виявлено, що однією з причин втрати міцності ниток є їх проходження через численну ниткопровідну гарнітуру. Для порівняння втрати міцності обрано 2 снувальні машини з різною кількістю ниткопровідних елементів та встановлено, що на машині з меншою кількістю ниткопровідних елементів втрата міцності менша. Таким чином, зменшення кількості ниткопровідних елементів впливає на зниження втрати міцності при снуванні, так як нитка на своєму шляху до катушки менше контактує з нитконаправляючими поверхнями.

Групою вчених [37] досліджено втрату міцності трикотажних виробів внаслідок дії кислот. У результаті експерименту встановлено, що обробка трикотажного одягу кислотним пранням призводить до зниження міцності на розрив (розривальне навантаження). Максимальну втрату міцності отримав зразок трикотажу з бавовняної пряжі, яка становить 6,31%.

Авторами [38–40] вивчено питання втрати міцнісних та інших фізико–механічних властивостей високоміцних поліетиленових ниток (НВМПЕ). Встановлено, що незважаючи на високі міцнісні показники, поліетиленові нитки втрачають свої первинні властивості починаючи від способу заправки розривальної машини до характеру дії хімічних речовин.

У результаті проведеного аналізу виявлено, що на втрату міцності ниток впливає ряд факторів, однак питання втрати їх вихідних властивостей у процесі в'язання не досить вивчене. При переробці ниток у трикотажне полотно нитка піддається згинанню, скручуванню та тертю, що в свою чергу впливає на вихідні властивості ниток. Крім того, нитка у трикотажі приймає форму петлі та знаходиться у стиснутому стані. Основним чинником, що

сповільнює використання надмічної сировини на в'язальному обладнанні, є особливості її механічних характеристик – жорсткість на згин, коефіцієнт тертя і схильність до суттєвої втрати міцності у процесі в'язання. Першочерговим завданням на шляху розробки трикотажу підвищеної міцності з прогнозованими характеристиками структури та властивостями є дослідження поведінки надміцних ниток у процесі їх переробки на в'язальному обладнанні. Однак, на сьогодні відсутня вичерпна інформація щодо впливу технологічних параметрів в'язання на параметри структури трикотажу та втрату міцності високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток у результаті їх переробки на в'язальному обладнанні. Встановлення оптимальних параметрів в'язання трикотажних полотен з високоміцних ниток сприятиме розширенню асортименту та підвищенню якості захисних виробів від механічних ушкоджень. Тому наразі даний науковий напрям є актуальним.

### **1.3 Аналіз досліджень у сфері виготовлення трикотажу з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток**

Аналіз науково–технічної та патентної літератури показав, що у даний час недостатньо вивчено вплив умов переробки надміцної сировини у текстильний матеріал, зокрема вплив процесу в'язання на параметри структури та характеристики ниток підвищеної міцності після їх переробки на в'язальному обладнанні. Наявна в літературних джерелах інформація не дає надійних відомостей при порівняльних випробуваннях ниток підвищеної міцності із застосуванням ідентичних методів, ускладнює зіставлення властивостей ниток і оптимізацію їх застосування. Крім того, відсутні відомості щодо впливу технологічних параметрів в'язання на нормальний перебіг процесу петлетворення, геометрію осьової лінії нитки в петлях трикотажу, що є важливим етапом розробки цифрових 3D прототипів структури кулірного трикотажу для реалізації віртуальних експериментів з

прогнозування фізико–механічних характеристик трикотажу підвищеної міцності.

Робота [41] присвячена дослідженню впливу типу плосков'язального обладнання на формоутворення петель з сировини підвищеної міцності – високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток, а також у разі їх поєднання у процесі в'язання з металевою монониткою. У ході досліджень виявлено вплив типу плосков'язального обладнання та виду надміцної сировини на зміну форми осьової лінії нитки в петлі. Одержані в результаті досліджень результати, що характеризують геометрію нитки в петлі кулірного трикотажу, виробленого з високомолекулярної поліетиленової та параарамідної ниток, дозволяють перейти до етапу створення цифрових 3D прототипів його структури. Однак інформації щодо особливостей формоутворення петель недостатньо, для створення тривимірних моделей структури трикотажу з надміцної сировини відсутній опис геометрії ниток в структурі трикотажу.

Автори іншої роботи [42] досліджують вплив параметрів в'язання на структурні характеристики трикотажу, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток на сучасній в'язальній машині Stoll CMS 330 10 класу. Встановлено, що найбільший вплив на властивості трикотажу має глибина кулірування, саме цей технологічний параметр процесу в'язання визначає довжину нитки в петлі, а відповідно і щільність в'язання. Однак у роботі відсутні відомості щодо впливу виду сировини на формоутворення петель в структурі кулірного трикотажу, що є не менш важливим чинником, що впливає на показники якості трикотажу з сировини підвищеної міцності і відповідно сфери його подальшого застосування.

У роботі [43] авторами реалізовано однофакторний експеримент з визначення характеру впливу глибини кулірування на параметри структури трикотажу, виробленого подвійним кулірним переплетенням виворітний ластик, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток. При цьому натяг нитки та зусилля відтягування залишалися незмінними. Особливістю

обраної структури є шахове чергування лицьових та виворітних петель у петельних рядах. Дослідні зразки трикотажу вироблені на двофонтурній плосков'язальній машині Stoll CMS 330 10 класу. На підставі проведеної математичної обробки експериментальних даних авторами встановлено відповідні регресійні залежності. Однак відсутні відомості щодо впливу глибини кулірування на формоутворення петель.

У роботі [44] описано особливості переробки високомолекулярної поліетиленової нитки на двох типах плосков'язального обладнання, які відрізняються за принципом виконання відтягування полотна та наявністю платин на одному з них. У роботі подано обґрунтування причини зміни типу в'язального обладнання. Однак відсутній порівняльний аналіз процесу в'язання на обраних двох типах плосков'язального обладнання.

Авторами роботи [45] проаналізовано в'язальну здатність високомолекулярної поліетиленової нитки торгової марки Doyentrontex фірми «Beijing Tongyizhong» (Китай) 132 текс при переробці її в структуру подвійних кулірних переплетень: ластик 1+1, комбіновані на базі ластика і гладі на двофонтурній плосков'язальній машині 6 класу. Авторами візуально за показником поверхневого заповнення трикотажу та рівномірністю петельної структури полотна встановлено, що переробка надміцної нерозтяжної нитки значно впливає і на форму структурних елементів у порівнянні з елементами структури трикотажу з традиційної сировини. Однак відсутні інформація про чисельні показники зміни форми осьової лінії нитки в петлях трикотажу.

У роботі [46] досліджено характер зміни геометричних параметрів поліетиленової та параарамідної ниток в структурі трикотажу переплетення кулірна гладь під дією епоксидного зв'язуючого, однак у роботі не наведено заправні дані вироблення дослідних зразків трикотажу.

Робота [47] направлена на розробку трикотажу підвищеної міцності для захисту рук від механічних небезпек. Дослідні зразки трикотажу трубчастої форми вироблені з високомолекулярної поліетиленової нитки торгової марки

Doentrontex компанії «Beijing Tongyizhong» (Китай) на в'язальному обладнанні двох типів. Автором роботи проаналізовано переваги та недоліки виготовлення трикотажу на обраних двох типах плосков'язального обладнання: плоскофангова машина ПВРК та рукавичний автомат ПА–8–33. Досліджено стійкість трикотажу до порізу, розривальне навантаження та розривальне видовження по довжині трикотажу. Однак у роботі відсутні відомості щодо впливу типу в'язального обладнання на втрату міцності ниток після в'язання та геометрію нитки в структурі трикотажу.

Аналіз вищенаведених робіт дозволив зробити висновок, що одержані результати досліджень не дають вичерпних відомостей про поведінку високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток при їх переробці на в'язальному обладнанні. Тому вивчення впливу параметрів в'язання, структури переплетення й виду високоміцних ниток на параметри структури кулірного трикотажу, а також втрату міцності ниток внаслідок їх переробки на в'язальному обладнанні є актуальною задачею з точки зору встановлення відповідних залежностей та формування банку даних для побудови тривимірних геометричних моделей (3D моделей) та їх подальшого використання у проведенні віртуальних експериментів в системах комп'ютерного моделювання.

#### **1.4 Аналіз методів геометричного моделювання структури кулірного трикотажу**

Використання високоміцних текстильних матеріалів для виготовлення одягу для певних категорій робітників промислових підприємств, рибалок, мисливців, спортсменів, екстремальних туристів, кухарів, обумовлено необхідністю ефективного захисту людини у виробничих або інших небезпечних умовах від різних механічних травм, коли безпеку неможливо або складно забезпечити іншими засобами захисту. Зокрема трикотажні полотна спеціального призначення для виготовлення захисних виробів від дії механічних ушкоджень повинні відповідати ряду вимог за фізико–



механічними, гігієнічним та іншим властивостям, оскільки вироби в процесі експлуатації піддаються різним видам силових навантажень. Встановлення взаємозв'язку між характеристиками ниток та їх конфігурацією в структурі переплетення з одного боку та захисними властивостями полотна з іншого є важливим завданням, що вимагає особливого підходу та уваги [48,49].

Виготовлення текстильних полотен спеціального призначення пов'язане з вибором оптимальних геометричних характеристик і фізико–механічних властивостей. Вирішення задачі оптимізації властивостей захисних виробів на основі аналізу властивостей вихідних матеріалів стало можливим завдяки створенню систем комп'ютерного моделювання різноманітних процесів. Дані системи дозволяють здійснювати аналіз фізико–механічних властивостей досліджуваних об'єктів на основі їх тривимірних геометричних моделей. Тому одним з ключових моментів для імітаційного дослідження надійності захисних виробів, що виготовляються з використанням сировини підвищеної міцності, є адекватність математичного опису структури текстильного полотна.

Відомо, що структура трикотажу визначається розмірами та конфігурацією елементів, з яких складається полотно або виріб, їх взаємним розташуванням та характером зв'язків між ними. В автоматизованому проектуванні структури трикотажу замість ще не існуючого об'єкта оперують об'єктом–моделлю, яка відображає деякі властивості об'єкта, які цікавлять дослідника. Дані моделі називають математичними, якщо вони формалізовані засобами апарату та мовою математики. Можна сказати, що математичні моделі описують взаємозв'язки параметрів об'єкту, а також дозволяють оцінити наслідки проектних рішень. Важливою перевагою використання подібних моделей є можливість отримати інформацію про об'єкт проектування без проведення натуральних експериментів засобами імітаційного моделювання.

Історія створення та вдосконалення моделей петлі трикотажу почалася близько століття назад. До нинішнього часу проведені численні дослідження в області геометричного опису трикотажної структури та встановлення

взаємозв'язку між її елементами та найважливішими характеристиками. Різні способи встановлення таких взаємозв'язків були запропоновані в роботах [50–69]. Наприклад, Курбак [69] опублікував свою геометричну модель для трикотажу переплетення кулірна гладь, в якій голкова і платини дуги представлені як дуги еліпса, а петельні палички – як просторові криві, що огинають по спіралі з певним кутом нахилу поверхню гіпотетичних еліптичних циліндрів, розташованих паралельно площині полотна (рис.1.2).

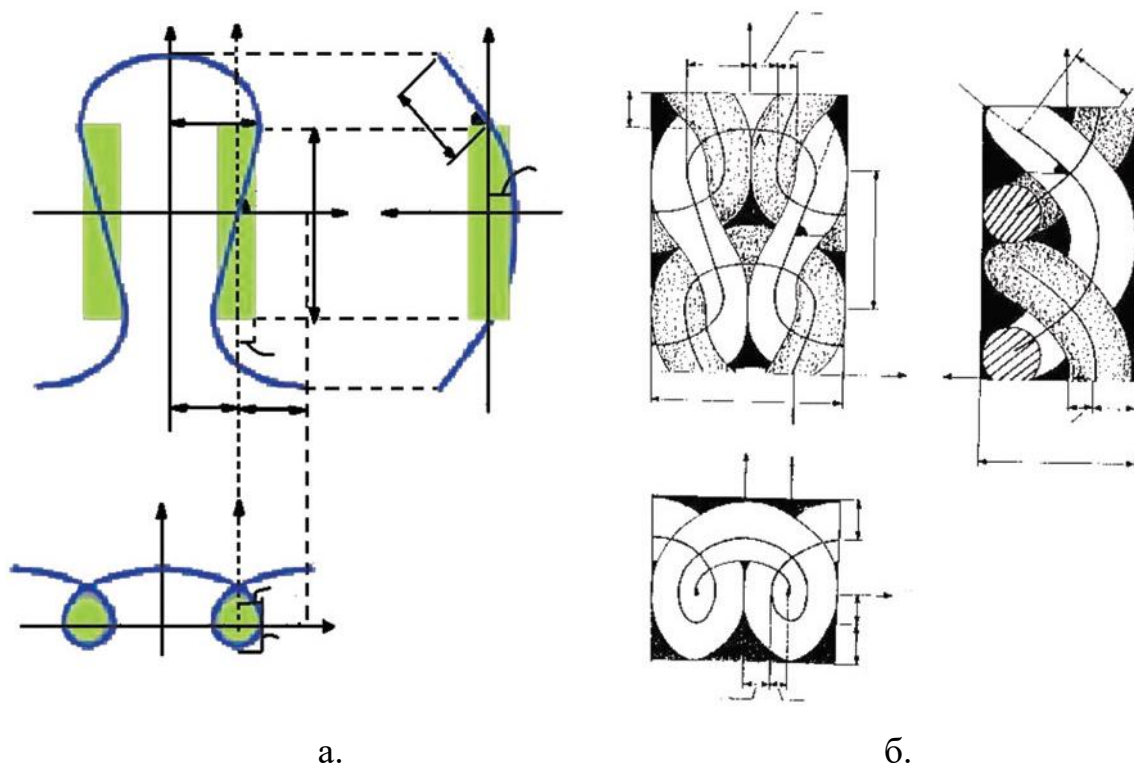


Рис.1.2 Модель Курбака: (а) схематичний малюнок центральної осі петлі; (б) креслення реальної моделі петлі

Взагалі, більшість геометричних моделей структури трикотажу базується на моделі А.С. Далідовича [56], яка була запропонована у 1970 році. Дана модель спрощена і має ряд припущень, але на сьогодні вона здебільшого використовується для швидкого розрахунку параметрів в'язання. Описана модель не дає точних варіантів з позиції прогнозування властивостей, але вона дає можливість наближено визначити параметри структури трикотажу. З появою сировини підвищеної міцності та необхідності прогнозування властивостей трикотажних полотен, у тому числі і для захисних виробів, з'явилась необхідність створення тривимірних геометричних моделей у

максимально напруженому стані для встановлення фізико–механічних властивостей досліджуваних текстильних матеріалів.

Слід зазначити, що Далідовичем А.С. [56] описано геометрію нитки в петлі в структурі трикотажу у максимально напруженому стані по довжині та ширині. У даних геометричних моделях автором зроблено припущення, що внаслідок прикладених зусиль по лінії стовпчика відбувається перерозподіл нитки з протяжок в палички. При цьому голкова і платинна дуга досягають мінімального розміру з урахуванням умовного діаметра нитки.

Автор вважає, що внаслідок розтягу трикотажу сама довжина нитки в петлі не змінюється, тобто його розтяжність залежить лише від його будови (структури переплетення). Таким чином, математично висоту петлі в максимально напруженому стані пропонується визначати за наступною залежністю:

$$B_{max} = \frac{\ell - 3\pi f}{2} \quad (1.1)$$

де  $\ell$  – довжина нитки в петлі;

$f$  – умовний діаметр нитки.

В той же час петельний крок стає мінімальним і дорівнює чотирьом товщинам нитки, тобто:

$$A_{min} = 4 \cdot f \quad (1.2)$$

Внаслідок розтягу трикотажу переплетення гладь вздовж лінії петельного ряду, петля буде розтягуватись до тих пір, доки не досягне своїх максимальних розмірів  $A$ . Автор вважає, що максимальний петельний крок збільшується зі збільшенням довжини нитки в петлі та зі зменшенням товщини нитки:

$$A_{max} = \ell - 3\pi f \quad (1.3)$$

При розтягненні у ширину висота петельного ряду зменшується і під час руйнування досягає значення  $B_{min}$ :

$$B_{min} = 2f \quad (1.4)$$

У роботі [56] описано також поведінку петель трикотажу переплетення ластик 1+1 при його розтягненні вздовж лінії петельного ряду та стовпика. Математичні розрахунки висоти петлі в максимально напруженому стані  $B_{max}$  пропонується виконувати за формулою як для гладі, а розрахунок ширини петлі у максимально напруженому стані має наступний вигляд:

$$A_{max} = 2(\ell - 3\pi f) \quad (1.5)$$

Крім того, існує досвід вивчення характеристик структури трикотажу у розтягнутому стані [70–71]. У роботі [70] експериментально досліджено реакцію на розтяг трикотажного полотна та встановлено місцеві переміщення петель під час деформації. Крім того, отримано принципову механічну модель області зсуву петель, що базується на енергії вигину ниток, збереженні загальної довжини полотна та топологічних обмеженнях на петлі. Дана модель вирішує як форму, так і механічний відгук трикотажного полотна. Тобто, дане дослідження забезпечує фундаментальну основу для розуміння трикотажних полотен, прокладаючи шлях до розумних текстильних матеріалів.

Автором роботи [72] запропоновано описати геометрію осьової лінії нитки рівнянням B-сплайну. Для відображення характеру зміни кривизни нитки по дуговій координаті на відповідному сегменті, визначено координати п'яти визначальних точок P0, P1, P2, P3, P4 (рис. 1.3) у тривимірному просторі, алгоритм знаходження яких базується на загальних положеннях нелінійної теорії гнучких пружних стрижнів та вихідних даних щодо будови трикотажного переплетення, що проєктується, та фізико-механічних характеристик волокон та пряжі (нитки).

Даний підхід до моделювання дозволяє створити адекватну модель нитки з урахуванням таких фізико-механічних характеристик ниток як розтяжність, жорсткість на згин та кручення, зминальність, анізотропія тертя, розподіл маси по довжині нитки та зміна форми поперечного перерізу нитки на різних ділянках петлі, а також урахувати ворсистість та внутрішню пористість текстильного матеріалу. Можливість враховувати особливості

структури нитки та виду переплетення є обов'язковою вимогою до проєктування виробів з прогнозованими властивостями.

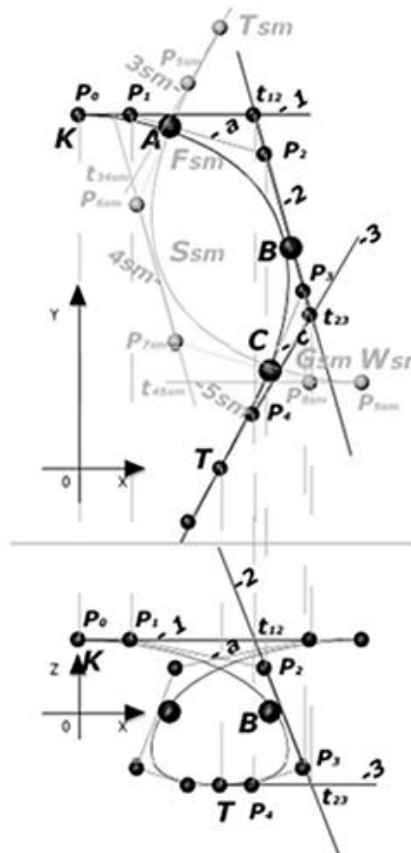


Рис. 1.3 Центральна лінія відрізка нитки в зоні переплетення

У роботі [73] представлено огляд існуючих геометричних і фізичних моделей петлі трикотажного полотна. Автором описано метод обробки зображення зазначеної петлі для майбутнього аналізу. Запропонований спосіб передбачає зміну форми контуру за допомогою поліноміальних функцій та визначення кривизни центру петлі. Остаточним результатом цієї роботи є запропонована автором залежність зміни параметрів контуру петлі при деформації у напрямку петельних стовпчиків.

Комп'ютерні моделі структури трикотажу будуються на базі однієї або декількох теоретичних моделей (геометричної, енергетичної та/або механічної), або способом відцифрування [74–75] готових прототипів. Вибір теоретичної бази для побудови на її основі спеціальних програм, що дозволяють відтворити в середовищі 3D моделювання геометрію нитки, пров'язаної у трикотаж, визначається призначенням САПР, що розробляється.

Різні способи створення 3D моделей структури трикотажу описані в роботах [76–81] та ін. Такі моделі забезпечують хорошу топологічну відповідність розташування нитки як в моделі, так і в зразку, а також високий рівень візуальної схожості.

Завдання забезпечення відповідності довжини нитки в елементах структури для моделі і її прототипу розглянута у роботах [82–85]. Відомо, що забар'єрна деформація трикотажного полотна під дією механічних впливів пов'язана з перерозподілом нитки в структурі трикотажу. Тому за необхідності оцінки захисних характеристик трикотажу, виробленого з високоміцних ниток, необхідна геометрична модель, що має форму і довжину нитки в петлі, які точно відповідають даним показникам структури прототипу.

Таким чином, у разі автоматизованого проєктування структури трикотажу замість ще не існуючого об'єкта слід створити об'єкт–модель, яка відображатиме деякі властивості об'єкта, що цікавлять дослідника. Створені математичні моделі мають бути формалізовані засобами апарату і мовою математики. Такі моделі мають описувати взаємозв'язки параметрів об'єкта та дозволяти здійснювати оцінку наслідків проєктних рішень. Важливою перевагою використання таких моделей є можливість отримати інформацію про об'єкт проєктування без проведення натуральних експериментів.

Наявність даних, що характеризують геометрію нитки в петлі кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високомолекулярної поліетиленової та параарамідної ниток, дозволить вирішити питання адекватності математичного опису структури проєктованого трикотажу та перейти до етапу 3D моделювання його структури для реалізації віртуальних експериментів з визначення його фізико–механічних характеристик у сучасних САПР та подальше створення трикотажу технічного призначення з прогнозованими властивостями [41].

## **1.5 Аналіз існуючого програмного забезпечення для цілей визначення якісних характеристик об'єкта – трикотажу з високоміцних ниток на етапі його проєктування**

Питанням визначення фізико–механічних властивостей виробів та об'єктів на етапі його проєктування займалися вчені усього світу [86–97]. Однак для визначення якісних властивостей трикотажних полотен необхідно знайти оптимальне програмне забезпечення, яке за своїми можливостями відповідає поставленим вимогам до проєктування трикотажних полотен та виробів з прогнозованими фізико–механічними характеристиками. Оскільки імітаційне моделювання представляє собою відтворення дії потоків, то необхідно обрати програмне забезпечення з можливістю CFD відтворення.

Технологія CFD – це сукупність фізичних, математичних та чисельних методів, призначених для обчислення властивостей потоків рідин та газів. Даний метод моделювання має найширші можливості для аналізу отриманих даних багато в чому завдяки колірній подачі результатів розрахунку.

Прогрес комп'ютерних технологій в аеро – і гідродинаміці дозволяє вважати віртуальний обчислювальний експеримент повноцінною заміною натуральних фізичних дослідів, проведених в аеродинамічній трубі, а отримана інформація сприяє розумінню й осмисленню фізичних процесів.

Питання необхідності проведення віртуальних експериментів з метою вивчення характеру деформації трикотажних полотен спеціального призначення під дією силових навантажень, а також протікання тепло– та газообмінних процесів у трикотажних полотнах та виробках постало давно. Такий метод визначення якісних характеристик трикотажу дозволяє на етапі проєктування встановити параметри в'язання, що забезпечують вироблення трикотажу із заданими властивостями. Імітаційне моделювання передбачає наявність адекватних тривимірних геометричних моделей структури трикотажу. Крім того, одним з ключових моментів на шляху реалізації віртуальних експериментів є визначення оптимального програмного

забезпечення, яке дозволить прогнозувати фізико–механічні характеристики трикотажу.

Відповідно, точність аналітичних розрахунків у системах CAE залежить від адекватності моделей, створених на першому етапі, від урахування усіх суттєвих характеристик об'єкту моделювання. З точки зору вбудованих інструментів, придатних для автоматизації гідродинамічних розрахунків, визначення якісних характеристик трикотажних полотен може бути здійснено за допомогою таких широко відомих програмних продуктів як ANSYS FLUENT та ANSYS CFX, Flow Vision, OpenFOAM, SigmaFlow, Autodesk Simulation CFD, SolidWorks та ін.

CFD моделювання підходить для визначення якісних характеристик трикотажних полотен, оскільки програмне забезпечення дозволяє використовувати як прості геометричні об'єкти (структура петлі), так більш складні деталі або збірки (структура трикотажу). Для більш чітких розрахунків є можливість регулювання розмірів та щільності сітки на важливих ділянках, наприклад в місці перетину двох петель. У таблиці 1.1 наведено характеристику вищезгаданих систем комп'ютерного моделювання.

Таблиця 1.1

### Можливості комп'ютерних систем CFD моделювання

Назва, Країна	Можливості	Формати	Доступ
Autodesk Simulation CFD [98], (США)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- моделювання зовнішніх і внутрішніх нестискуваних і стискаються потоків;</li> <li>- моделювання нестационарних потоків;</li> <li>- моделювання процесів – теплопередачі;</li> <li>- робота з періодичними граничними умовами;</li> <li>- моделювання вільного перебігу рідини методом вільної поверхні (Volume of Fluid – VOF);</li> </ul>	*.iam, *.ipt, *.smt, *.x_t, *.sat, *.asm, *.prt, *.sldasm, *.sldprt, *.prt, *.sdy, *.stp, *.step, *.CatProduct, *.CatPart, *.igs,	Платна, є безкоштовна пробна версія
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- робота з процесами випаровування та випромінювання;</li> <li>- прогнозування потенційних місць виникнення кавітації та ерозії;</li> <li>- моделювання та аналіз сонячного нагріву та нагрівання під дією електричного струму;</li> <li>- засоби візуалізації диму;</li> <li>- розрахунок і аналіз теплового комфорту;</li> <li>- робота з ротаційними машинами (осьові компресори, насоси, вентилятори), теплообмінниками, термоелектричними компонентами, тепловими радіаторами;</li> <li>- підтримка проникних матеріалів та ін.</li> </ul>	*.3dm, *.jt, *.unv, *.nas, *.dat та ін.	



## Продовження таблиці 1.1

Ansys CFX [99], США	<ul style="list-style-type: none"> <li>- облік теплообміну випромінюванням як в рідинах і газах, так і в прозорих твердих тілах;</li> <li>- мультиспектральні моделі для обліку залежності параметрів поглинання і розсіювання середовища від довжини хвилі;</li> <li>- аналіз бульбашкових і крапельних течій, течій з вільною поверхнею;</li> <li>- метод «зануреного тіла» для розрахунку великих переміщень тіл в потоці, що не вимагає перебудовання розрахункової сітки;</li> <li>- моделювання течій з хімічними реакціями, в тому числі горінням;</li> <li>- моделювання кавітації без залучення емпіричних моделей;</li> <li>- Спільне 3D–1D моделювання за допомогою Functional Mockup Interface (FMI) (TwinBuilder, Amesim, Modelica, Adams);</li> <li>- пов'язані розрахунки: міцність, акустика, магнітогідродинаміка, термоелектрика;</li> <li>- розрахунок зовнішньої аеродинаміки будівель і споруд (вітрового навантаження);</li> <li>- моделювання течій рідини і газу в органічних структурах (кровотік, дихальні шляхи);</li> <li>- параметризація і оптимізація та ін.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*.x_t, *.xmt_txt,</li> <li>*.x_b, *.xmt_bin,</li> <li>*.sldprt, *.sldasm,</li> <li>*.stp, *.step,</li> <li>*.CATPart,</li> <li>*.CATProduct, *.sat,</li> <li>*.sab, *.model, *,</li> <li>*.iges, *.igs, *.sat,</li> <li>*.sab,* .anf, *.ipt,</li> <li>*.iam та ін.</li> </ul>	Платна, є безкоштовна пробна версія
FLOWVIS ION [100], Росія	<ul style="list-style-type: none"> <li>- можливість до-, транс-, над- і гіперзвукових тривимірних течій;</li> <li>- вирішення стаціонарних / нестаціонарних задач;</li> <li>- морфологія: суцільна, дисперсна (бульбашки, частинки, краплі);</li> <li>- інерціальна / неінерціальна система координат;</li> <li>- моделювання турбулентності;</li> <li>- моделювання вільної поверхні;</li> <li>- теплоперенос (ізо- і анізотропна теплопровідність);</li> <li>- природна і вимушена конвекція;</li> <li>- дифузний променистий теплообмін P1;</li> <li>- випромінювання методом дискретних ординат;</li> <li>- об'ємні джерела тепловиділення;</li> <li>- модель масопереносу;</li> <li>- пористість;</li> <li>- електрогідродинаміка та ін.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*.cdb, *.wrl, *.STL,</li> <li>*.vtc, *.bdf, *.nas,</li> <li>*.dat, *.inp, *.ngeom,</li> <li>*.mesh, *.cel, *.igs,</li> <li>*.iges, *.stp, *.step,</li> <li>*.x_t, *.x_b,</li> <li>*.CATpart,</li> <li>*.CATproduct,</li> <li>*.asm, *.prt, *.sat,</li> <li>*.sab, *.SLDASM,</li> <li>*.SLDPRT, *.xml,</li> <li>*.gif та ін.</li> </ul>	Платна, є безкоштовна пробна версія
OpenFOAM [101], Великобританія	<ul style="list-style-type: none"> <li>- розрахунки на міцність;</li> <li>- гідродинаміка ньютонівських і неньютонівських в'язких рідин як в нестисливому, так і стисливому наближенні з урахуванням конвективного теплообміну і дією сил гравітації;</li> <li>- моделювання турбулентних течій, використання RANS–моделей, LES– і DNS–методів;</li> <li>- вирішення дозвукових, навколосвукових і надзвукових завдань;</li> <li>- задачі теплопровідності в твердому тілі;</li> <li>- багатофазні завдання, в тому числі з описом хімічних реакцій компонент потоку;</li> <li>- вирішення завдань, пов'язаних з</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*.ftr,* .stl,* .stlb,* .obj,</li> <li>*.off,* .vtk,* .tri,* .ac,</li> <li>*.smesh,* .gts,* .dx та ін.</li> </ul>	Безкоштовна

## Продовження таблиці 1.1

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- деформацією розрахункової сітки;</li> <li>- вирішення задач, при математичній постановці яких потрібно рішення диференціальних рівнянь в приватних похідних в умовах складної геометрії середовища;</li> <li>- розпаралелювання розрахунку як в кластерних, так і багатопроцесорних системах.</li> </ul>		
SOLIDWORKS Flow Simulation [102], Франція	<ul style="list-style-type: none"> <li>- моделювання потоків рідини і теплообміну в пористих середовищах;</li> <li>- потоки неньютоновських рідин;</li> <li>- вільна, примусова і змішана конвекція;</li> <li>- потоки рідини з прикордонними шарами, включаючи ефекти шорсткості стінок;</li> <li>- ламінарні і турбулентні потоки;</li> <li>- змішані рідини і багатокомпонентні тверді тіла;</li> <li>- потоки в моделях з рухомими / обертовими поверхнями і / або деталями;</li> <li>- перенесення тепла в рідких, твердих і пористих середовищах з парним теплообміном і без нього і / або з жаростійким контактом між твердими тілами;</li> <li>- прогнозування шуму (в стаціонарному і перехідному стані)</li> <li>- теплообмін випромінюванням між твердими тілами;</li> <li>- джерела тепла з ефектом Пельтьє;</li> <li>- потік випромінювання на поверхнях напівпрозорих тіл;</li> <li>- кавітація в нестискуваних потоках рідини;</li> <li>- конденсація води з пара і її вплив на потік і теплообмін;</li> <li>- відносна вологість в газах і газових сумішах;</li> <li>- двохфазові потоки (рідина + частинки) та ін.</li> </ul>	*.sat, *.dxf, *.dwg, *.igs, *.iges, *.x_t, *.x_b, *.xmt_txt, *.xmt_bin, *.step, *.stp, *.wrl, *.vda, *.wrl та ін.	Платна

Аналіз можливостей програмного забезпечення дозволив з'ясувати, що усі вищеперераховані пакети імітаційного моделювання придатні для визначення якісних характеристик трикотажних полотен. Нами пропонується здійснювати 3D моделювання структури трикотажу у програмі Autodesk Autocad. Autodesk Simulation CFD є програмним забезпеченням одного сімейства. Це дозволяє уникнути конвертування при відкриванні файлів Autocad з розробленими 3D моделями структури трикотажу в Autodesk Simulation CFD.

Отже, засобами програми Autodesk Simulation CFD за умови наявності 3D моделей структури трикотажу можна реалізовувати віртуальні

експерименти з визначення якісних характеристик трикотажних полотен. За умови відсутності технологічного обладнання є можливість встановити оптимальні параметри структури, що забезпечують одержання трикотажу з прогнозованими властивостями. На сьогоднішній день це особливо важливо для трикотажу спеціального призначення, виробленого з сировини підвищеної міцності.

Даний спосіб дозволяє значно скоротити витрати часу та кошти на виготовлення дослідних зразків на в'язальному обладнанні, не потребує додаткового лабораторного устаткування та зручний у відтворенні. Підвищення точності розрахунків може бути досягнуто за рахунок удосконалення геометрії 3D моделі структури трикотажу з урахуванням фізико–механічних характеристик сировини, зокрема її жорсткості на згин, густини речовини, філаментності, крутки та ін.

### **Висновки та постановка завдань досліджень**

1. На сьогоднішній день трикотажне виробництво активно розвивається не тільки у сфері виготовлення повсякденного та спортивного одягу, а й у напрямку розробки різноманітних засобів захисту як елементів спецодягу, охоплюючи все більшу частину ринку. Відтепер трикотаж здатен забезпечити задоволення вимог споживача не лише з точки зору естетичних та експлуатаційних характеристик, а й захисних. Це стало можливим завдяки новітнім розробкам у сфері одержання високоміцних ниток та створення з їх використанням текстильних матеріалів нових структур для виготовлення виробів, що забезпечують захист від дії механічних ушкоджень.

2. Актуальною науково–технічною проблемою є удосконалення технології виготовлення трикотажу з високоміцних ниток з прогнозованими характеристиками структури та властивостями. Встановлено особливості структури високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток, їх відмінність, характеристики міцності та фактори, які впливають на її втрату. За результатами проведеного аналізу виявлено, що на втрату міцності

високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток впливає ряд факторів, таких як світлопогода, вологість, умови переробки на технологічному обладнанні, умови зберігання тощо. Однак питання втрати їх міцності у процесі в'язання не досить вивчене.

3. На підставі аналізу існуючих методів геометричного моделювання та створення 3D моделей трикотажу визначено вимоги до математичних моделей, що мають адекватно описувати геометрію нитки в структурі проєктованого трикотажу та дозволяють перейти до етапу 3D моделювання його структури й подальшої реалізації віртуальних експериментів з визначення його фізико–механічних характеристик у сучасних САПР та створення трикотажу з прогнозованими властивостями.

4. Розглянуто найбільш відомі системи комп'ютерного моделювання для відтворення віртуальних експериментів з визначення фізико–механічних властивостей об'єктів. Визначено відмінність даних програм та обрано програмне забезпечення, яке за своїми можливостями найбільше підходить для реалізації віртуальних експериментів з визначення якісних характеристик трикотажних полотен за умов наявності адекватних 3D моделей структури трикотажу.

Виходячи з проведеного аналізу апріорної інформації щодо об'єкту дослідження і сформульованих висновків, дисертаційна робота направлена на розробку нових та удосконалення існуючих методів та засобів прогнозування характеристик структури трикотажу з високоміцних ниток та втрати її міцності в залежності від умов переробки на в'язальному обладнанні.

Мета роботи полягає у прогнозуванні на етапі проєктування характеристик структури та властивостей кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого на плосков'язальному обладнанні з високоміцних ниток.

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

- проаналізувати дослідження у сфері виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток та прогнозування його властивостей на етапі проєктування;

- встановити закономірності впливу параметрів в'язання на параметри структури кулірного трикотажу, виробленого з параарамідних й високомолекулярних поліетиленових ниток, та показники втрати їх міцності після в'язання;

- визначити раціональні параметри в'язання трикотажу відповідно до заданих параметрів його структури та показників втрати міцності ниток;

- встановити закономірності впливу кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя» та лінійної густини параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток на втрату їх міцності.

- розробити методику прогнозування втрати міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток у процесі їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні;

- створити геометричні 3D моделі кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток у вільному та максимально розтягнутому стані вздовж лінії петельного ряду або стовпчика;

- розробити методику визначення показників якості трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання.

### **Список використаних джерел до розділу 1**

1. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.[Чинний від 01–08–2011]. К.: Держспоживстандарт України, 2011. 11 с.

2. Армирующие химические волокна для композиционных материалов. / И. Кудрявцев и др. М.: Химия, 1992. 236 с.
3. Каца Г.С., Милевски Д.В. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справ. Пособие. М.: Химия, 1981. 736 с.
4. Перепелкин К. Е. Структура и свойства волокон. М.: Химия, 1985. 208 с.
5. Перепелкин К.Е. Химическое волокно: настоящее и будущее. *Химические волокна*. 2000. №5. С. 35–38.
6. Мийченко И.П. Наполнители для полимерных материалов: учебное пособие. Москва: МАТИ, 2010. 195 с.
7. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. Кн. 1/ Под ред. Дж. Любина.; пер. с англ. А.Б. Геллера и др. М.: Машиностроение, 1988. 584 с.
8. СВМПЭ волокно: способ получения, свойства, применение. URL: <https://helpiks.org/8-90847.html> (дата звернения: 18.04.2017).
9. Товарознавство текстильних товарів : навч. посіб. / В. А. Афанасьєва та ін. Х: ХАІ, 2009. 139 с.
10. Сергеева Е.А., Костина К.Д. Анализ ассортимента арамидных волокон и их свойств. *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18, №14. С. 124–125.
11. Ёдгорова Х. И., Исраилова С. М. Изменение качественных показателей трикотажных полотен гладь, полученных из смесей различных волокон. *Молодой ученый*. 2018. №17 (203). С. 41–44.
12. Юлдашева М.Т., Валиева З.Ф. Изменение качественных показателей трикотажных полотен гладь, полученных из смесей различных. *Молодой ученый*. 2018. № 17 (203). С. 100–103.
13. Алланиязов Г.Ш, Айтымбетов С.Р., Юлдашев А.Т., Шамуратов М.Т., Салаева Н.С. Прочность футерованного трикотажа зависит от изменения раппорта. *Научные горизонты*. 2018. №3 (7). С. 163–167.
14. Черноус Д.А., Шилько С.В., Чарковский А.В. Панин С.В. Прогнозирование деформационно–прочностных характеристик простого

- основовязаного трикотажа *Механика машин, механизмов и материалов*. 2009. №4. С. 84–89.
15. Журабоев А. Т., Дадамирзаева Ш., Гуляева Г., Холиков К. Физико–механические свойства двухслойного трикотажа. *Advances in Science and Technology*: сборник статей XXIII международной научно–практической конференции (15 сентября 2019 г., Москва). Москва: «Научно–издательский центр «Актуальность. РФ», 2019. С. 40–41.
  16. Каби Б.К., Толекбаева А.Г., Абдугапарова Ж.А. Исследование параметров плюшевого трикотажа на базе прессового переплетения. *Конституция республики Казахстан – правовой феномен современности*: материалы Межвузовской студенческой конференции, посвященной 20–летию Конституции Республики Казахстан (27 февраля 2015 г., Петропавловск). Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева, 2015. С. 137–140.
  17. Столяров О. Н., Труевцев А. В. Механические свойства кулирного трикотажа из арамидных нитей. *Технология текстильной промышленности*. 2009. №2 (314). С. 68–70.
  18. Махмудова Г.И., Каратаев М.С., Сатаев М.И., Нурмаматова О.И., Садибек А. Влияние количества жаккардовых петель на физико–механические свойства. *Технология текстильной промышленности*. 2015. №1 (355). С. 34–38.
  19. Боброва С. Ю., Галавська Л.Є. Міцність трикотажу спеціального призначення. *Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність*: тези доповідей III Міжнародної науково–практичної конференції (12–17 вересня 2017 р. м. Херсон). Херсон: ХНТУ, 2017. С.31–33.
  20. Мотовиловец Н. В. Особенности визначення розривних характеристик трикотажних полотен для фехтувальних костюмів. *Вісник КНУТД*. 2009. №1. С. 202–204.
  21. Боброва С.Ю., Галавська Л. Є., Несін С. О. Дослідження втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання. *Стан і перспективи розвитку*

- хімічної, харчової та парфумерно–косметичної галузей промисловості: тези доповідей Всеукраїнської конференції (22–23 травня 2018 р. м. Херсон). Херсон: ХНТУ, 2018. С. 40–41.
22. Sitotaw D.B. *An Investigation on the Dependency of Bursting Strength of Knitted Fabrics on Knit Structures. Industrial Engineering & Management.* 2017. №6 (3). URL: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/an-investigation-on-the-dependency-of-bursting-strength-of-knitted-fabrics-on-knit-structures-2169-0316-1000221.pdf> (дата звернення: 12.12.2017).
  23. Ertugrul S., Ucar N. Predicting Bursting Strength of Cotton Plain Knitted Fabrics Using Intelligent Techniques. *Textile Research Journal.* Vol. 70, №10. С. 845–851.
  24. Ince M.E., Yildirim H. Air permeability and bursting strength of weft–knitted fabrics from glass yarn. Part II: knit architecture effect. *The Journal of the Textile Institute.* 2019. №7 (110). С.1072–1084.
  25. Raluca B., Dinu M. Experimental Investigation on Tensile Strength of Jacquard Knitted Fabrics. *Annals of the University of Oradea.* 2015. Vol. 16, №1. С. 21–26.
  26. Мырхалыков Ж.У., Байжанова С.Б. Исследование механических свойств многоластичного трикотажа. *Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс–2013): сборник материалов международной научно–технической конференции (28 – 30 мая 2013 г., г. Иваново) Иваново: ИГЛА, 2013. №1. С. 152–154.*
  27. Успанова С.С. Исследование трикотажной пряжи на прочность и растяжимость. *Молодежь в системе инновационного развития современной науки: сборник докладов международной научно–практической конференции молодых ученых, студентов и учащихся, посвященной 25–летию Независимости Республики Казахстан (13 ноября 2016 г., г. Рудный). Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2016. С. 38–42.*



28. Крилова Л.О., Дмитренко Л.А. Використання міцності нитки в трикотажі. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2012. № 1 (63). С. 110–114.
29. Костомарова С.А., Шустов Ю.С., Курденкова А.В. Исследование изменения механических свойств параарамидных нитей под воздействием светопогоды. *Дизайн и Технологии*. 2016. №56 (98). С. 61–65.
30. Никитина О.В., Курденкова А.В., Шустов Ю.С. Прогнозирование разрывной нагрузки параарамидных нитей Русар в зависимости от длительности воздействия естественной светопогоды. *Дизайн и Технологии*. 2012. №28. С. 27–30.
31. Никитина О.В., Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Антонова О.Н. Исследование влияния светопогоды на механические свойства параарамидных нитей. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2007. №2. С. 26–28.
32. Степанова А.Б. Влияние условий эксплуатации на механические свойства параарамидных нитей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. С–Пб., 2014. 17 с.
33. Лебедева Н. П. Влияние эксплуатационных воздействий на свойства параарамидных нитей технического назначения: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 – Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности. СПб., 2007. 239 с.
34. Глобина С.А., Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Буланов Я.И. Исследование прочности в сухом и мокром состоянии параарамидных нитей российского и зарубежного производства. *Вестник науки и образования*. 2018. №7 (43). С. 27–32.
35. Никитина О.В., Курденкова А.В., Шустов Ю.С. Исследование разрывной нагрузки при растяжении параарамидных нитей. *Технология текстильной промышленности*. 2012. №6 (342). С. 27–28.

36. Боровик Т.С., Шейнова Т.И. Исследование потери прочности основных нитей из-за процесса снования. *Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности: тезисы докладов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов (23–25 апреля 2013 г., г. Иваново)*. Иваново: ИВГПУ, 2013. С. 64–65.
37. Khalil EL. Study on Properties Analysis of Knitwear After Acid Wash. *AASCIT Communications*. 2016. Vol. 3, № (2). С.102–106.
38. Сергеева Е.А., Букина Ю.А., Ибатуллина А.Р. Влияние плазменной обработки на физико-механические свойства волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. № 17, Т. 15. С. 116–119.
39. Сергеева Е.А., Абдуллин И.Ш. Влияние высокочастотного разряда пониженного давления на свойства ВВПЭ волокон. *Вестник Казанского технологического университета*. 2009. №2. С. 84–89.
40. Молтусов А.С., Орлова Н.А. Исследование физико-механических свойств полимерной нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). *Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: сборник статей Международной научно-практической конференции (15 июня 2017 г., г. Екатеринбург)*. Екатеринбург: НИЦ АЭТЕРНА, 2017: Технические науки. С. 123–126.
41. 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 металеву монониткою. *Вісник Хмельницького національного університету*. Серія: Технічні науки. 2020. № 1 (281). С. 80–86.
42. 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. 133–136.

43. 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 (22–23 травня 2018 р. м. Херсон)*. Херсон: ХНТУ, 2018. С. 42–43.
44. Боброва С.Ю., Шибырин К.А., Габелко А.М. Розробка трикотажу підвищеної міцності, що використовується для захисту рук від дії механічних пошкоджень. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27–28 квітня 2017 р., м. Київ)*. К.: КНУТД, 2017. Т. 1: Сучасні матеріали і технології виробництва виробів широкого вжитку та спеціального призначення. С. 306–307.
45. 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 Міжнародної науково–практичної конференції, (27–28 жовтня 2016 р., м. Херсон)*. Херсон: ХНТУ, 2016. С. 43–45.
46. Калюжний В.Є., Єліна Т.В., Галавська Л.Є. Геометрія нитки у структурі трикотажних композитів. *KyivTex&Fashion: Збірник матеріалів III Міжнародної науково–практичної конференції текстильних та фешн технологій (31 жовтня 2019 р., м. Київ)*. Київ: КНУТД, 2019. С. 223–226.
47. Боброва С.Ю. Розробка трикотажу для захисту рук від механічних небезпек. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 5. С. 242–246.
48. Чистяков Е.Ф. Броневые материалы на основе полимерных волокон. *Мир и безопасность*. 2014. №4. С.19–25.
49. Боброва С.Ю., Галавська Л.Є. Розробка балістичних трикотажних полотен для виготовлення засобів бронезахисту. *Вісник Київського*

- національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. 2015. №3 (86). С. 114–120.
50. Tompkins E. The Science of Knitting. New York: John Wiley and Sons, 1914. P. 330.
  51. Chamberlain J. Hosiery yarn and fabrics, Vol.1. Leicester: City of Leicester Technical College, 1926. P.107.
  52. F.T. Pierce. Geometrical principles applicable to the design of functional fabrics. *Textile Research Journal*. 1947. №17(3). P. 123–147.
  53. 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 Transactions*. 1953. №44(11). P. 534–543.
  54. Munden D.L. The geometry and dimensional properties of plain-knit fabrics. *Journal of the Textile Institute Transactions*. 1959. №50(7). P. 448–471.
  55. A. Vékássy. 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.
  56. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия. 1970г. 432с.
  57. Korlinski W. Theoretical and empirical generalized model of plain knit goods. *Melliand Textilberichte*. 1985. №10.
  58. Morooka H., Matsumoto Y. A geometric analysis of the stitch form of a circular plain knit fabric inserted over a cylinder. *Textile Research Journal*. 1998. №68(12). P. 930–936.
  59. В. Р. Крутикова. Развитие теории формирования трикотажа и методов прогнозирования технологических параметров процесса вязания на плоско- и кругловязальных машинах: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.02 05.19.02 Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья. Кострома, 2007. 204 с.
  60. Nutting T.S., Leaf G.A.V. generalized geometry of weft-knitted fabrics. *Journal of the Textile Institute*. 1964. №55(1). С. 45–53.

61. Postle R. The mechanics of the relaxed plain–knitted structure, Ph.D. thesis, Leeds University, UK. 1965
62. Whitney J.M., Epting J.L. Three–dimensional analysis of a plain knitted fabric subjected to biaxial stresses. *Textile Research Journal*. 1966. №36(2). P. 143–147.
63. Popper P. The theoretical behavior of a knitted fabric subjected to biaxial stresses. *Textile Research Journal*. 1966. №36(2). p. 148–157.
64. 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.
65. Shanahan W.J., Postle R.A. Theoretical analysis of the plain–knitted structure. *Textile Research Journal*. 1970. №40(7). P. 656–665.
66. Нерворт В., Нерворт К., Лиф Г.А.В. The plain knitted structure. *Textile Research Journal*. 1970. №40. P. 863.
67. А. В. Труевцев. Прикладная механика трикотажа: Учебное пособие. СПб.: СПбГУТД. 2001. 87 с.
68. Kyosev Y.K. Machine configurator for braided composite profiles with arbitrary cross section. *ECCM16: Proceedings of the 16th European conference on composite materials (22th–26th June 2014, Seville)*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/271271193\\_machine\\_configurator\\_for\\_braided\\_composite\\_profiles\\_with\\_arbitrary\\_cross\\_section](https://www.researchgate.net/publication/271271193_machine_configurator_for_braided_composite_profiles_with_arbitrary_cross_section) (дата звернення: 1.02.2017).
69. Kurbaq A. Plain Knitted Fabric Dimensions (Part II). *Textil. Asia*. 1998, P. 36–44.
70. Poincloux S., Lechenault F. Geometry and Elasticity of a Knitted Fabric. *Physical Review X*. 2018. 8(2). URL: [https://www.researchgate.net/publication/322713593\\_Geometry\\_and\\_Elasticity\\_of\\_a\\_Knitted\\_Fabric](https://www.researchgate.net/publication/322713593_Geometry_and_Elasticity_of_a_Knitted_Fabric)
71. Poincloux S., Adda–Bedia M., Lechenault F. Crackling Dynamics in the Mechanical Response of Knitted Fabrics. *Physical Review Letters*. 121(5).

URL:[https://www.researchgate.net/publication/325756452\\_Crackling\\_Dynamics\\_in\\_the\\_Mechanical\\_Response\\_of\\_Knitted\\_Fabrics](https://www.researchgate.net/publication/325756452_Crackling_Dynamics_in_the_Mechanical_Response_of_Knitted_Fabrics)

72. Єліна Т.В. Удосконалення проектування кулірного трикотажу шляхом тривимірного геометричного моделювання його структури: дисертація канд. техн. наук: 05.18.19 –Технологія текстильних матеріалів, швейних і трикотажних виробів. Київ. 2013. 230 с.
73. Vysanska M. Image analysis and description of single jersey loop geometry. *Vlakna a Textil (Fibres and Textiles)*. 2017. №24(1). P. 78–94.
74. Harjkova G., Barburski M., Lomov, S., Kononova O., Verpoest I. Weft knitted loop geometry of glass and steel fiber fabrics measured with X-ray microcomputer tomography. *Textile Research Journal*. 2014. №84(5). P. 500–512.
75. Naouar A., Vidal-Salle E., Boisse P. Meso-FE forming of a non-crimp 3D orthogonal weave E-glass composite reinforcement based on X-ray computed tomography. *3D Fabrics & Their applications: proceedings of the 7th World Conference (8th–9th september 2016., Roubaix, France)*. Roubaix. P. 285–293.
76. Kurbak A., Ekmen O. 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(3). P. 198–208.
77. 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.
78. Kyosev Y., Angelova Y, Kovar R. 3D modeling of plain weft knitted structures of compressible yarn. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2005. №9(1). P. 88–97.
79. Li Y., Yang L., Chen S., Xu L. Three dimensional simulation of weft knitted fabric based on surface model. *Computer modeling & new technologies*. 2014. №18(3). P. 52–57

80. Kyosev Y. Geometrical and mechanical modelling of textile structures at fiber and yarn level – software and data structures. *Vlakna a Textil (Fibres and Textiles)*. 2017. №24(1). P. 3–9
81. Peirce F.T. The geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute Transactions*. 1937. №28(3). P. 45–96.
82. Kemp A. An Extension of Peirce's Cloth Geometry to the Treatment of Non-circular Threads. *Journal of the Textile Institute Transactions*. 1958. №49(1). P. 44–48.
83. А.с. 46469 Україна. Комп'ютерна програма «Структура – 3D». /Єліна. Т. В., Галавська Л.С. – заявка №46726 від 25.09.2012, опубл. 23.11.2012.
84. Єліна Т.В. Дослідження відповідності розробленої тривимірної геометричної моделі петлі кулірного трикотажу його реальній будові. *Вісник КНУТД*. 2012. №5(67). С.94–99.
85. Ausheva N., Galavska L., Ielina T. Geometric representations features of textile yarn in the 3d modeling systems. UNITECH–13: Proceedings of the International Scientific Conference (22th–23th November 2013., Gabrovo, Bulgaria). Gabrovo: Vasil Aprilov, 2016. P.199–202
86. Хисамиев И.Г., Футин В. А., Шубкин И. М. Проведение верификации моделей проточной части турбомашин на программе Flow Vision. *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. №22. С. 106–110.
87. Мягков Ю.В., Шипелов Ю. С. Моделирование охлаждения цилиндра двигателя средствами программного комплекса ANSYS CFX. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2013. №6. Ч.1.С. 131–135.
88. Волик М.В. Исследование влияния длины улиц на течение воздуха в них. *Труды Института системного программирования РАН*. 2014. №26(5) С. 201–212.
89. Каменецкий Е.С., Волик М.В., Тагиров А.М. Математическое моделирование распространения загрязняющих веществ, выбрасываемых

- автотранспортом. *Известия Кабардино–Балкарского научного центра РАН*. 2014. № 6(62). С.23–32.
90. Круковский П.Г., Чалая И.В., Перепелица М.С. Анализ теплового состояния металлических колонн стадиона НСК "Олимпийский" при воздействии реального пожара (вопросы верификации). *Пожежна безпека: теорія і практика*. 2013. № 13. С. 53–59.
91. Риберт Ю.О., Кирманов О.С. CAD/CAM–системи в тимчасовому діагностичному протезуванні пацієнтів із дисфункцією скроневопіднижньощелепних суглобів (огляд літератури). *Український стоматологічний альманах*. 2013. №4. С. 92–96.
92. Estafan D., David A., David S., Calamia J. A new approach to restorative dentistry: fabricating ceramic restorations using CEREC CAD/CAM. *Compend. Contin. Educ. Dent.* 2000. Vol. 20, № 6. P. 555–560.
93. Duret F., Preston J.D. CAD/CAM imaging in dentistry. *Current Opinion in Dentistry*. 1991. № 1. P. 150–154.
94. Шардаков И.Н. Шестаков А.П. Построение четырехкамерного геометрического образа сердца человека на основе рентгеновской томографии. *Российский журнал биомеханики*. 2015. Т.19, №4. С. 372–384.
95. Матвеев В.П., Шардаков И.Н., Шестаков А.П. Алгоритм создания трехмерных образов органов человека по томографическим данным. *Российский журнал биомеханики*. 2011. Т.15, №4. С. 20–32.
96. Sassi P., Freiria J., Paz P., Mendina M., Draper M., Usera G. Coupled discrete element and finite volume methods for simulating loaded elastic fishnets in interaction with fluid. *Computers & Fluids*. 2017. Volume 156. P. 200–208.
97. Phillip Gibson. Modeling Heat and Mass Transfer from Fabric–Covered Cylinders. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2009. Vol. 4. №1. URL: <https://journals.sagepub.com/toc/jefa/4/1> (дата звернення: 16.07.2018).



98. Computational fluid dynamics simulation software URL:  
<https://www.autodesk.com/products/cfd/overview>. (дата  
звернення: 21.01.2019).
99. ANSYS CFX, Турбулентные течения, теплообмен. URL:  
<https://www.ansys.soften.com.ua/products/fluids/ansys-cfx.html> (дата  
звернення: 22.01.2019).
100. Основные возможности Flow Vision. URL:  
<https://flowvision.ru/ru/flowvision-technologies/description> (дата звернення:  
23.01.2019).
101. Openfoam. URL: <https://www.openfoam.com/>. (дата звернення: 24.01.2019)
102. SOLIDWORKS Flow Simulation. URL:  
<https://www.solidworks.com/ru/product/solidworks-flow-simulation> (дата  
звернення: 25.01.2019).

**РОЗДІЛ 2**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ**  
**КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ ПЕРЕПЛЕТЕНЬ ГЛАДЬ ТА ЛАСТИК,**  
**ВИРОБЛЕНОГО З ПАРААРАМІДНИХ ТА ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ**  
**ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ НИТОК, ТА ВТРАТИ ЇХ МІЦНОСТІ**  
**ПІСЛЯ В'ЯЗАННЯ**

**2.1 Математичне моделювання параметрів та властивостей кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високоміцних ниток**

На властивості та параметри трикотажних полотен у процесі в'язання впливає ряд факторів, таких як лінійна густина, глибина кулірування, сила натягу нитки та зусилля відтягування полотна.

З метою визначення факторів, що впливають на параметри та властивості параарамідних та поліетиленових ниток заплановано та реалізовано повний трифакторний експеримент. У якості керованих факторів обрано лінійну густина нитки –  $X_1$ [текс], глибину кулірування –  $X_2$ [мм] та зусилля відтягування полотна –  $X_3$ [сН] при сталому натязі нитки (табл.2.1).

У процесі в'язання на параметри структури трикотажу, виробленого з високоміцних ниток, впливає ряд факторів, таких як структура переплетення, лінійна густина, глибина кулірування, сила натягу нитки та зусилля відтягування полотна. З метою визначення факторів, що впливають на параметри структури трикотажу та втрату міцності параарамідних та поліетиленових ниток після їх переробки на в'язальному обладнанні заплановано та реалізовано повний трифакторний експеримент. У якості керованих факторів обрано лінійну густина нитки –  $X_1$ [текс], глибину кулірування –  $X_2$ [мм] та зусилля відтягування полотна –  $X_3$ [сН] при сталому натязі нитки (табл.2.1).

Таблиця 2.1

## Умови проведення повного трифакторного експерименту

Умови проведення експерименту	Натуральні значення і-го фактору				Кодовані значення і-го фактору		
	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
	T, текс		h, мм	Q, сН	T	h	Q
	ПЕ	ПА					
основний рівень фактору X <sub>oi</sub>	88	88,2	3	2251,4	0	0	0
інтервал варіювання факторів I <sub>i</sub>	44	29,4	0,5	591,50	1	1	1
верхній рівень фактору X <sub>vi</sub>	44x3	58,8x2	3,5	2842,9	+1	+1	+1
нижній рівень фактору X <sub>ni</sub>	44	58,8	2,5	1659,9	-1	-1	-1

Для визначення величини глибини кулірування використана залежність, що описує взаємозв'язок між довжиною нитки в петлі та розмірами робочих органів машини й товщини нитки [1]. Величину довжини нитки в петлі змінено шляхом регулювання положення кулірного клина. На підставі зазначеної залежності, виходячи зі встановлених значень мінімальної та максимальної довжини нитки в петлі, розраховано мінімальне та максимальне значення глибини кулірування: 2,5 мм та 3,5 мм відповідно. У ході реалізації попереднього експерименту встановлено мінімальний та максимальний рівні зусилля відтягування полотна: 1659,9 сН та 2842,9 сН відповідно. Дослідні зразки трикотажу переплетень гладь та ластик вироблені на плосков'язальній машині типу ПВРК 8 класу при однаковій кількості працюючих голок. Кількість голок у заправці для переплетення гладь складає 64 в одній голечниці, для ластика – по 32 голки у кожній з голечниць.

У відповідності до матриці планування експерименту (табл. 2.2) виготовлені зразки кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних ниток, а саме високомолекулярної поліетиленової та параарамідної ниток. У якості параметрів для проведення досліджень обрано

довжину нитки в петлі  $\ell$  (мм), поверхневу густину  $ms$  (  $\text{г/м}^2$ ), щільність по вертикалі  $N_p$  та горизонталі  $N_c$ , товщину трикотажу  $M$  (мм)[2–5].

Таблиця 2.2

Матриця планування трифакторного експерименту

Номер досліду	Фактори			
	$X_0$	$X_1 - T, \text{Текс}$	$X_2 - h, \text{мм}$	$X_3 - Q, \text{сН}$
1	+	–	–	–
2	+	+	–	–
3	+	–	+	–
4	+	+	+	–
5	+	–	–	+
6	+	+	–	+
7	+	–	+	+
8	+	+	+	+

Показники втрати міцності високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток внаслідок їх переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик встановлено з використанням розривної машини KaoTieh KT-7010AZ.

### 2.1.1 Встановлення впливу умов в'язання на параметри структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з параарамідних ниток

У відповідності до запланованого експерименту виготовлені зразки трикотажних полотен переплетень гладь та ластик з параарамідних ниток та лабораторним методом встановлені параметри структури трикотажу. На підставі отриманих даних експериментальних досліджень, з використанням методів статистичної обробки даних для регресійної багатофакторної моделі першого порядку (Додаток А), встановлено регресійні математичні залежності, що описують взаємозв'язок між параметрами в'язання та параметрами структури (довжина нитки в петлі, товщина трикотажу, поверхнева густина, кількість петельних стовпчиків і петельних рядів в 100 мм

трикотажу) розроблених зразків трикотажу, вироблених з високоміцних параарамідних ниток. У таблиці 2.3 представлено встановлені у ході реалізації повного трифакторного експерименту регресійні математичні залежності у кодованому та натуральному вигляді.

Таблиця 2.3

Результати обробки експериментальних даних для зразків трикотажу, виробленого з високоміцної параарамідної нитки

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	у кодованому вигляді	у натуральному вигляді
Вид переплетення: гладь		
довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	$Y_r = 8,09 + 0,305x_1 + 0,29x_2 + 0,04x_3 + 0,05x_1x_2 + 0,08x_1x_3 - 0,06x_2x_3 + 0,15x_1x_2x_3$	$l = -3,48 + 0,09T + 4,08h + 0,47 \cdot 10^{-2}Q - 0,03Th - 0,17 \cdot 10^{-2}hQ - 4,61 \cdot 10^{-5}TQ + 1,7 \cdot 10^{-5}ThQ$
поверхнева густина $ms$ , г/м <sup>2</sup>	$Y_r = 217,48 + 66,29x_1 - 10,72x_2 + 4,9x_3 - 4,38x_1x_2 + 3,4x_1x_3$	$ms = 24,32 + 4,8h + 2,7T - 0,9 \cdot 10^{-2}Q + 0,19 \cdot 10^{-3}TQ - 0,3Th$
товщина трикотажу $M$ , мм	$Y_r = 0,68 + 0,17x_1 - 0,35 \cdot 10^{-1}x_2 - 0,01x_3 - 0,01x_1x_2 - 0,01x_1x_3 + 0,4 \cdot 10^{-2}x_2x_3 + 0,45 \cdot 10^{-2}x_1x_2x_3$	$M = 5,17 \cdot 10^{-7}ThQ - 2,16 \cdot 10^{-6}TQ - 0,18 \cdot 10^{-2}Th + 0,012T - 3,21 \cdot 10^{-5}hQ + 1,29 \cdot 10^{-4}Q + 0,06h - 0,06$
кількість петельних стовпчиків, $N_c$	$Y_r = 43,75 + 0,25x_1 - 3,25x_2 - 0,75x_3 + 0,25x_1x_2 + 1,25x_1x_3 + 2,75x_2x_3 + 0,75x_1x_2x_3$	$N_c = 8,63 \cdot 10^{-5}ThQ - 1,87 \cdot 10^{-4}TQ - 0,18Th + 0,38T + 0,17 \cdot 10^{-2}hQ - 0,13 \cdot 10^{-1}Q - 11,8h + 95,55$
кількість петельних рядів, $N_p$	$Y_r = 56,5 + 1x_1 - 2,25x_2 - 1,75x_3$	$N_p = 0,03T - 0,3 \cdot 10^{-2} - 4,5h + 73,66$
Вид переплетення: ластик		
довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	$Y_r = 13,37 + 0,06x_1 + 0,85x_2 + 0,82x_3 + 0,09x_1x_2 + 0,12x_1x_3 - 0,21x_2x_3 + 0,28x_1x_2x_3$	$l = -15,72 + 9,07h + 0,01Q + 0,18T - 8,77 \cdot 10^{-5}TQ - 0,35 \cdot 10^{-2}hQ - 0,06Th + 3,16 \cdot 10^{-5}ThQ$
поверхнева густина $ms$ , г/м <sup>2</sup>	$Y_r = 473,55 + 152,1x_1 - 15,2x_2 - 13,35x_3 - 9,05x_1x_2 - 3x_1x_3 + 6x_2x_3$	$ms = 0,02hQ - 0,62Th - 21,78h - 0,17 \cdot 10^{-3}TQ - 0,07Q + 7,41T + 99,13$
товщина трикотажу $M$ , мм	$Y_r = 1,83 + 0,39x_1 + 0,095x_2 - 0,11x_3 + 0,05x_1x_3 + 0,04x_2x_3 - 0,04x_1x_2x_3$	$M = -4,71 \cdot 10^{-6}ThQ + 1,7 \cdot 10^{-5}TQ + 0,01Th - 0,25 \cdot 10^{-1}T + 5,67 \cdot 10^{-4}hQ - 0,21 \cdot 10^{-2}Q - 1,08h + 4,88$
кількість петельних стовпчиків, $N_c$	$Y_r = 38,63 - 1,88x_1 - 1,13x_2 - 3,13x_3 - 2,63x_1x_2 + 2,38x_1x_3 - 1,38x_2x_3 + 1,13x_1x_2x_3$	$N_c = 1,29 \cdot 10^{-4} \cdot ThQ - 2,52 \cdot 10^{-4} \cdot TQ - 0,47Th + 1,04T - 0,16 \cdot 10^{-1}hQ + 0,03Q + 49,66h - 65,71$
кількість петельних рядів, $N_p$	$Y_r = 69,63 + 7,63x_1 - 0,38x_2 - 0,88x_3 + 1,63x_1x_2x_3$	$N_p = 1,87 \cdot 10^{-4}ThQ - 5,61 \cdot 10^{-4}TQ - 0,42Th + 1,52T - 0,16 \cdot 10^{-1}hQ + 0,06Q + 36,36h - 59,0$

На підставі одержаних регресійних залежностей побудовано поверхні (рис. 2.1–2.10), які наглядно ілюструють характер впливу лінійної густини, глибини кулірування та зусилля відтягування полотна на параметри структури трикотажу, виробленого з параарамідної нитки.

Представлені на рис. 2.1–2.2 поверхні вказують на характер впливу параметрів в'язання на довжину нитки в петлі  $\ell$ . Для побудови поверхонь фіксуємо глибину кулірування на необхідному мінімальному рівні ( $h=2,5\text{мм}$ ), оскільки для забезпечення текстильним матеріалом захисту від дії механічних ушкоджень нас цікавить трикотаж із найщільнішою структурою.

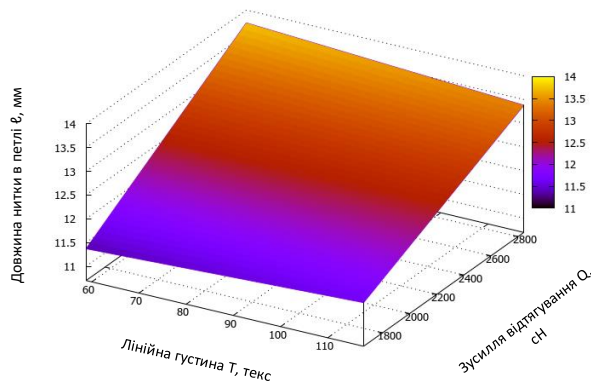


Рис. 2.1 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для довжини нитки в петлі трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідної нитки

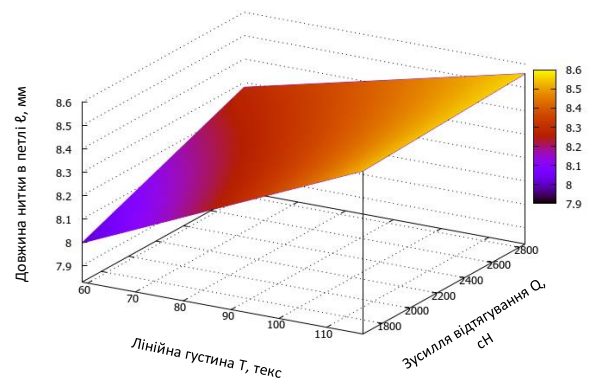


Рис. 2.2 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для довжини нитки в петлі трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідної нитки

Отримані поверхні ілюструють (рис. 2.1–2.2), що у заданому діапазоні параметрів в'язання максимальний рівень довжини нитки в петлі для переплетення гладь складає 8,54 мм, а для ластика – 13,65 мм, що характерно для даних видів переплетень. Слід відмітити, що на довжину нитки в петлі гладі лінійна густина має лінійний вплив: зі збільшення лінійної густини довжина нитки в петлі зростає. При цьому у разі максимальної лінійної густини зусилля відтягування має не суттєвий вплив для даного виду переплетення. Максимальної величини довжина нитки в петлі  $\ell$  досягає при максимальній лінійній густині  $T=58,8\text{текстX2}$  та зусиллі відтягування  $Q=2842,94$  сН. Для переплетення ластик лінійна густина не має вагомego впливу на довжину нитки в петлі. Це пояснюється особливостями переробки

параарамідних ниток на плосков'язальному обладнанні. Більш вагомий вплив на довжину нитки в петлі ластика має зусилля відтягування. Максимального рівня довжина нитки в петлі  $\ell$  досягає за умови мінімальної лінійної густини  $T=58,8$ текс та максимального зусилля відтягування  $Q=2842,94$  сН.

Розглянемо вплив умов в'язання на поверхневу густину трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з параарамідних ниток (рис. 2.3–2.4). З представлених на рисунках поверхонь видно, що трикотаж переплетення ластик має поверхневу густину майже в двічі більшу ніж у гладі, що характерно для даних видів переплетень. Максимального рівня ( $m_s=307,19$  г/м<sup>2</sup>) поверхнева густина трикотажу переплетення гладь досягає за умови максимального рівня лінійної густини  $T=58,8$ тексX2 та зусилля відтягування полотна  $Q=2842,94$  сН. Для трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток максимального рівня поверхнева густина трикотажу  $m_s=673,6$ г/м<sup>2</sup> досягає при  $T=58,8$ тексX2 та  $Q=1659,85$  сН.

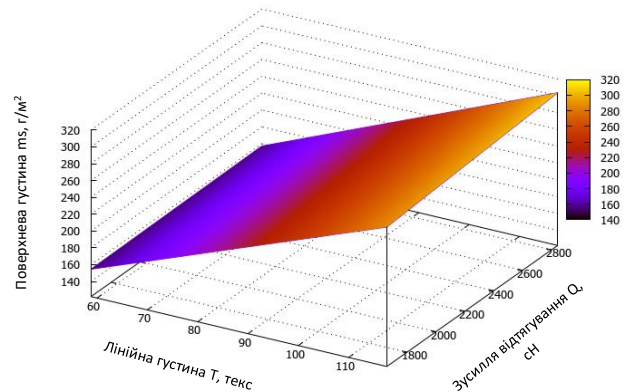
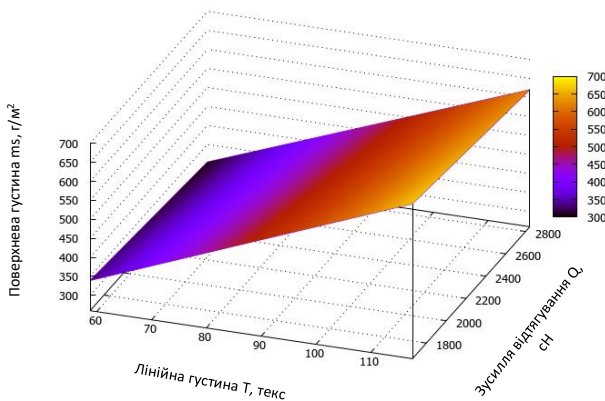


Рис. 2.3 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для поверхневої густини трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідної нитки

Рис. 2.4 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для поверхневої густини трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідної нитки

Можна вважати, що найвпливовішим фактором на зміну поверхневої густини трикотажу є лінійна густина параарамідної нитки. Зусилля відтягування має не суттєвий вплив для даного виду сировини. Однак з поверхні, наведеній на рис. 2.3, видно, що поверхнева густина трикотажу переплетення ластик при мінімальному рівні лінійної густини збільшується у

діапазоні від 300 до 350 г/м<sup>2</sup> зі зменшенням зусилля відтягування від максимального до мінімального рівня. Зі збільшенням лінійної густини вплив зусилля відтягування на величину поверхневої густини взагалі нівелюється і при максимальному рівні лінійної густини втрачає свій вплив.

При проектуванні виробів з високоміцних ниток для забезпечення захисту від дії механічних ушкоджень важливою характеристикою є товщина трикотажу  $M$ . На рис. 2.5–2.6 представлені поверхні, які ілюструють вплив умов в'язання на товщину трикотажу. На товщину трикотажу більший вплив має лінійна густина нитки. Зусилля відтягування має несуттєвий вплив, але для трикотажу переплетення ластик товщиною  $M=1\div 1,4$  мм характерний взаємний вплив обох факторів, тобто, товщина трикотажу збільшується зі зменшенням зусилля відтягування та збільшенням лінійної густини. Для трикотажу товщиною  $M=1,6\div 2,2$  мм зусилля відтягування не має впливу на даний параметр.

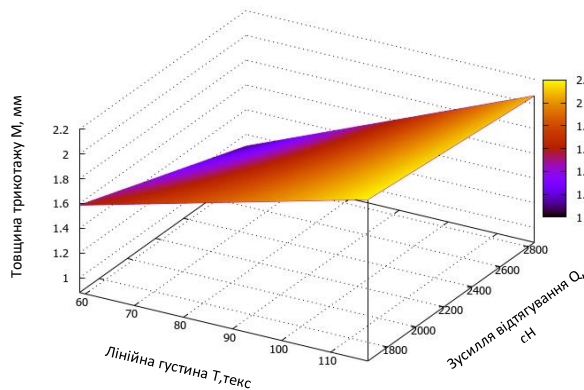


Рис. 2.5 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для товщини трикотажу переплетення ластик з параарамідної нитки

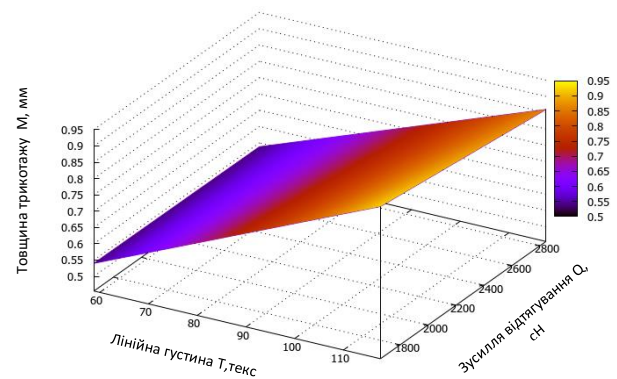


Рис. 2.6 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для товщини трикотажу переплетення гладь з параарамідної нитки

На рис. 2.7–2.8 наведено графічну інтерпретацію впливу параметрів в'язання на щільність по горизонталі трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з параарамідних ниток.



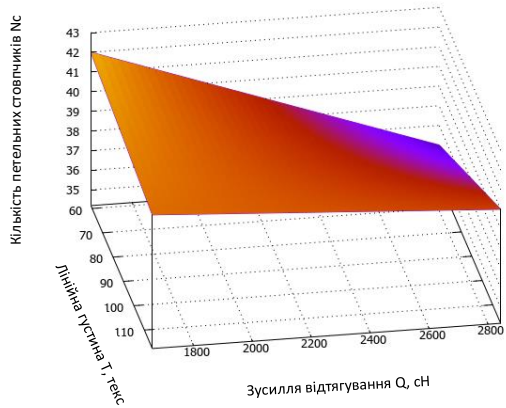


Рис. 2.7 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по горизонталі  $N_c$  трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідної нитки

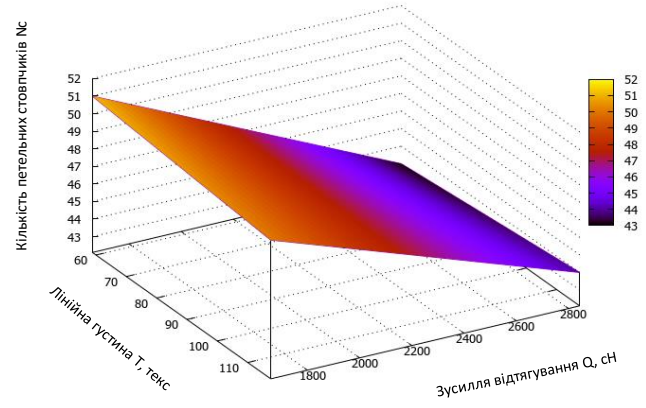


Рис. 2.8 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по горизонталі  $N_c$  трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідної нитки

Як видно з поверхні, наведеній на рис.2.8, зусилля відтягування має лінійний вплив, тобто кількість петельних стовпчиків збільшується зі зменшенням зусилля відтягування у заданому діапазоні. При цьому лінійна густина має несуттєвий вплив. Це пов'язано з особливістю структури трикотажу, виробленого з параарамідних ниток. Внаслідок прояву пружних властивостей високоміцних параарамідних ниток петлі в петельному стовпчику в суміжних петельних рядах нахиляються і утворюють зигзагоподібну будову. Вплив технологічних факторів на щільність трикотажу по горизонталі переплетення ластик дещо відрізняється від гладі. Зусилля відтягування не має впливу на щільність по горизонталі трикотажу переплетення ластик, виробленого з нитки лінійної густини  $T=58,8\text{текс} \times 2$ . Для нитки лінійної густини  $T=58,8\text{текс}$  зусилля відтягування має лінійний вплив: зі зменшенням зусилля відтягування у заданому діапазоні кількість петельних стовпчиків в 100мм трикотажу зростає від 32 до 42 петельних стовпчиків на 100мм для ластика та від 37 до 51 для гладі.

На рисунках 2.9–2.10 представлено поверхні, які характеризують вплив умов в'язання на щільність по вертикалі трикотажу, виробленого переплетенням гладь та ластик з параарамідних ниток.

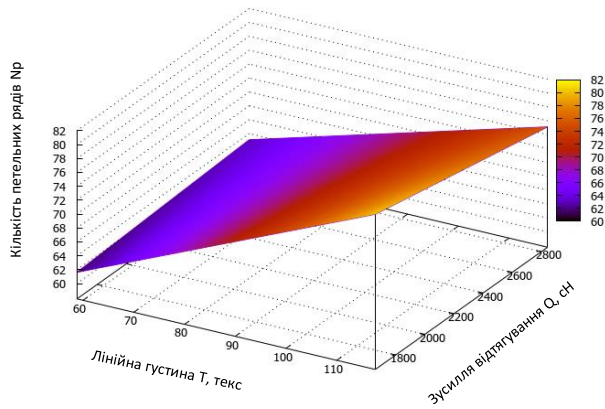


Рис. 2.9 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по вертикалі  $N_p$  трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідної нитки

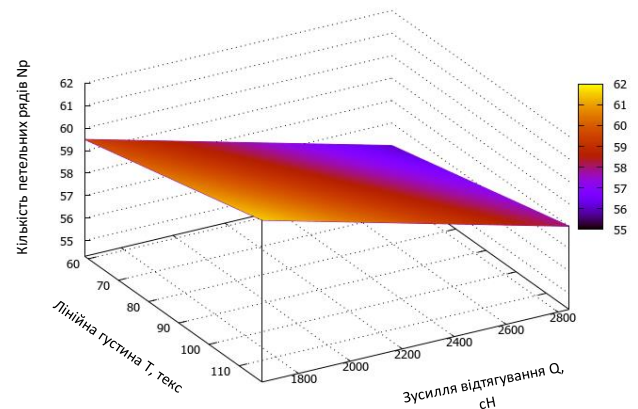


Рис. 2.10 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по вертикалі  $N_p$  трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідної нитки

Як видно з рис. 2.9, на щільність по вертикалі трикотажу переплетення ластик найбільший вплив має лінійна густина. Цікаво відмітити, що на величину щільності по вертикалі трикотажу переплетення гладь лінійна густина майже не має впливу, що обумовлено проявом пружних властивостей параарамідних ниток, зігнутих у петлі гладі: петлі в петельному стовпчику приймають зигзагоподібну будову і тому більш впливовим фактором виступає зусилля відтягування полотна. Таким чином можна сказати, що на поведінку параарамідних ниток має вплив структура переплетення. Максимального рівня щільності по вертикалі ( $N_p=61$ пет.р.) трикотаж переплетення гладь досягає при лінійній густині  $T=58,8$ тексХ2 та зусиллі відтягування полотна  $Q=1659,85$ сН. Для трикотажу переплетення ластик з високоміцних параарамідних ниток максимального рівня щільність по вертикалі ( $N_p=80$ пет.р.) досягається за аналогічних параметрів в'язання:  $T=58,8$ тексХ2 та  $Q=1659,85$ сН.

### 2.1.2 Встановлення впливу умов в'язання на параметри структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з поліетиленових ниток

У таблиці 2.4 представлено встановлені у ході реалізації повного трифакторного експерименту регресійні математичні залежності у

кодованому та натуральному вигляді для параметрів структури трикотажу переплетення гладь та ластик, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток.

Таблиця 2.4

Результати обробки експериментальних даних для трикотажу, виробленого з високомолекулярної поліетиленової нитки

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	у кодованому вигляді	у натуральному вигляді
<b>Вид переплетення: гладь</b>		
довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	$Y_r = 8,28 + 0,05x_1 + 0,09x_2 + 0,26x_3 - 0,04x_1x_2 + 0,09x_1x_3 - 0,10x_2x_3 + 0,13x_1x_2x_3$	$l = -1,2 + 3,0h + 0,37 \cdot 10^{-2}Q + 0,06T - 0,02Th - 0,12 \cdot 10^{-2}hQ - 2,56 \cdot 10^{-5}TQ + 9,68 \cdot 10^{-6}ThQ$
поверхнева густина $ms$ , г/м <sup>2</sup>	$Y_r = 225,31 + 90,11x_1 - 0,94x_2 + 12x_3 - 6,63x_1x_2 - 1,93x_1x_3 + 7,51x_2x_3 - 1,84x_1x_2x_3$	$ms = 166,29 + 2,17T - 60,54h - 0,09Q + 0,35 \cdot 10^{-3}TQ + 0,02Th + 0,04hQ - 0,14 \cdot 10^{-3}ThQ$
товщина трикотажу $M$ , мм	$Y_r = 0,79 + 0,27x_1 - 0,05x_2 + 0,15 \cdot 10^{-1}x_3 - 0,04x_1x_2 + 0,14 \cdot 10^{-1}x_1x_3 + 0,3 \cdot 10^{-2}x_2x_3 + 0,6 \cdot 10^{-2}x_1x_2x_3$	$M = 4,61 \cdot 10^{-7} \cdot ThQ - 8,45 \cdot 10^{-7}TQ - 0,3 \cdot 10^{-2}Th + 0,13 \cdot 10^{-1}T - 3,04 \cdot 10^{-5}hQ + 6,93 \cdot 10^{-5}Q + 0,13h - 0,09$
кількість петельних стовпчиків, $N_c$	$Y_r = 63,87 - 11,37x_1 + 0,37x_2 + 1,62x_3 - 0,37x_1x_2 - 0,625x_1x_3 + 0,62x_2x_3 - 1,12x_1x_2x_3$	$N_c = -8,64 \cdot 10^{-5} \cdot ThQ + 2,35 \cdot 10^{-4}TQ + 0,18Th - 0,74T + 0,9 \cdot 10^{-2}hQ - 0,24 \cdot 10^{-1}Q - 19,64h + 134,59$
кількість петельних рядів, $N_p$	$Y_r = 43,12 + 6,37x_1 - 2,12x_2 - 1,87x_3 + 0,62x_1x_2 - 1,12x_1x_3$	$N_p = -4,32 \cdot 10^{-5}TQ + 0,03Th + 0,16T + 6,34 \cdot 10^{-4}Q - 6,75h + 49,2$
<b>Вид переплетення: ластик</b>		
довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	$Y_r = 13,66 + 0,08x_1 + 0,11x_2 + 0,53x_3 + 0,24x_1x_3 - 0,29x_2x_3 + 0,25x_1x_2x_3$	$l = -5,5 + 0,11T + 0,8 \cdot 10^{-2}Q + 6,29h - 4,9 \cdot 10^{-5}TQ - 0,27 \cdot 10^{-2}hQ - 0,04Th + 1,95 \cdot 10^{-5}ThQ$
поверхнева густина $ms$ , г/м <sup>2</sup>	$Y_r = 338,7 + 172,3x_1 - 9,7x_2 - 6,25x_3 - 4,8x_1x_2 - 2,45x_1x_3 - 3,65x_2x_3 - 3,75x_1x_2x_3$	$ms = -0,28 \cdot 10^{-3}ThQ + 0,01hQ + 0,43Th + 0,77 \cdot 10^{-3}TQ - 29,5h - 0,04Q + 2,84T + 137,76$
товщина трикотажу $M$ , мм	$Y_r = 1,42 + 0,39x_1 - 0,03x_3 + 0,03x_1x_2 + 0,02x_1x_3 + 0,03x_1x_2x_3$	$M = 2,35 \cdot 10^{-6}ThQ - 6,3 \cdot 10^{-6}TQ - 0,39 \cdot 10^{-2}Th + 0,19 \cdot 10^{-1}T - 2,07 \cdot 10^{-4}hQ + 5,04 \cdot 10^{-4}Q + 0,34h - 0,13$
кількість петельних стовпчиків, $N_c$	$Y_r = 57,37 - 11,38x_1 - 1,37x_2 - 2,87x_3 + 0,87x_1x_3 + 0,87x_2x_3$	$N_c = 3,36 \cdot 10^{-5}TQ - 0,33T + 0,3 \cdot 10^{-2}hQ - 0,02Q - 9,41h + 125,96$
кількість петельних рядів, $N_p$	$Y_r = 51,37 + 10,37x_1 - 3,37x_2 - 1,37x_3 - 0,37x_1x_2 - 1,12x_2x_3 + 0,37x_1x_2x_3$	$N_p = 2,88 \cdot 10^{-5}ThQ - 1,0 \cdot 10^{-4}TQ - 0,06Th + 0,46T - 0,63 \cdot 10^{-2}hQ + 0,18 \cdot 10^{-1}Q + 7,52h + 10,43$

На підставі одержаних регресійних залежностей побудовані поверхні (рис. 2.11–2.20), які наглядно ілюструють характер впливу лінійної густини, глибини кулірування та зусилля відтягування полотна на параметри структури трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток. При побудові поверхонь, як і у випадку здійснення аналізу впливу параметрів в'язання на параметри структури трикотажу, виробленого з параарамідних ниток, глибина кулірування фіксувалась на мінімальному рівні  $h=2,5\text{мм}$ . Це дозволяє одержати щільну структуру трикотажу з високоміцних ниток стійкого до дії механічних ушкоджень.

На рис. 2.11–2.12 зображені поверхні, які демонструють вплив умов в'язання на довжину нитки в петлі трикотажу переплетення ластик та гладь.

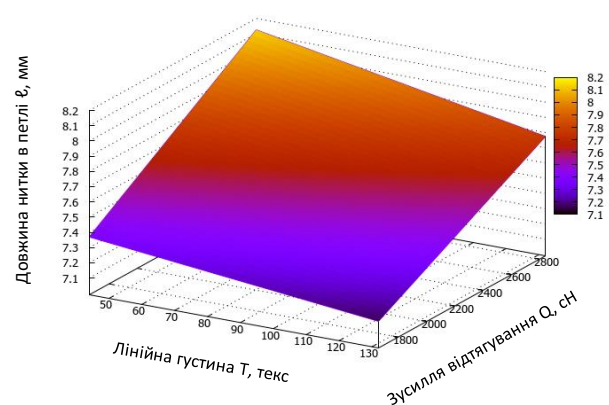
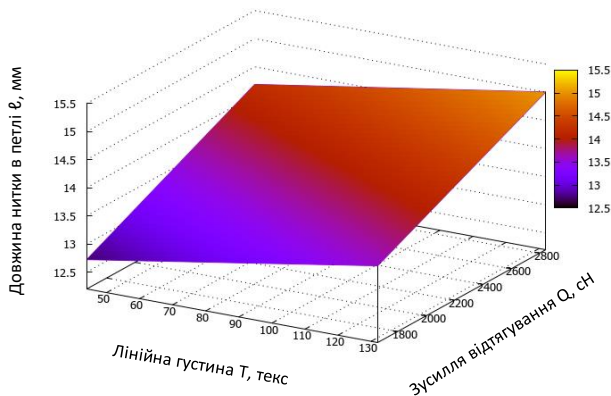


Рис 2. 11 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для довжини нитки в петлі трикотажу, виробленого переплетенням ластик з поліетиленової нитки

Рис 2. 12 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для довжини нитки в петлі трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленової нитки

З отриманих поверхонь, зображених на рис. 2.11 та 2.12, можна зробити висновок, що вплив лінійної густини на довжину нитки в петлі трикотажу переплетень гладь та ластик відрізняється. Довжина нитки в петлі трикотажу переплетення ластик збільшується зі збільшенням лінійної густини поліетиленової нитки. Найбільшого рівня довжини нитки в петлі трикотажу переплетення ластик досягає при максимальному рівні зусилля відтягування  $Q=2842,94\text{ сН}$  та максимальній лінійній густині  $T=44\text{тексX3}$  та складає  $l=15\text{ мм}$ . Для трикотажу переплетення гладь довжина нитки в петлі збільшується

зі зменшенням лінійної густини та максимального рівня ( $\ell = 8,2$  мм) досягає при мінімальному рівні лінійної густини  $T=44$  текс та максимальному рівні зусилля відтягування  $Q=2842,94$  сН.

Розглянемо вплив умов в'язання на поверхневу густину трикотажу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток.

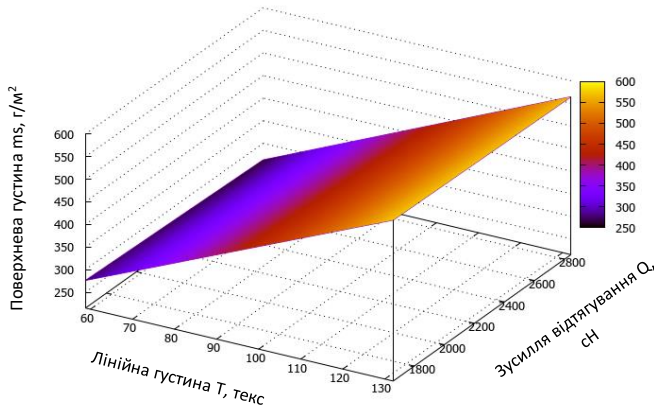


Рис 2. 13 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для поверхневої густини трикотажу, виробленого переплетенням ластик з поліетиленової нитки

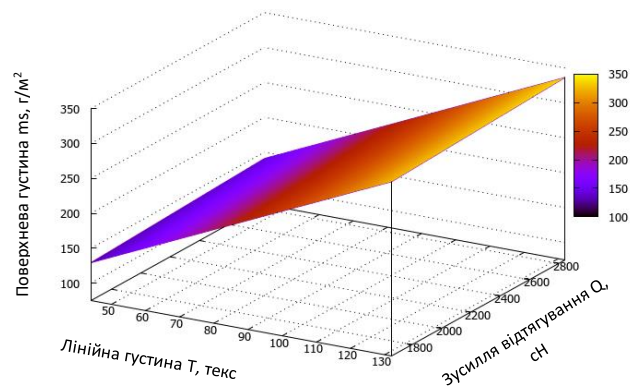


Рис 2. 14 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для поверхневої густини трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленової нитки

З одержаних поверхонь (рис. 2.13–2.14) видно, що вплив лінійної густини як для трикотажу переплетення ластик, так і для переплетення гладь має лінійний характер: зі збільшенням лінійної густини поверхнева густина збільшується. При цьому зусилля відтягування має вплив лише у діапазоні мінімальної лінійної густини  $T=44 \div 88$  текс. При максимальному рівні лінійної густини  $T=44$  текс  $\times 3$  зусилля відтягування полотна не впливає на величину поверхневої густини трикотажу як переплетення гладь, так і ластика.

Максимального рівня поверхнева густина для трикотажу переплетення гладь досягає ( $m_s=576,8$  г/м<sup>2</sup>) за умови лінійної густини  $T=44$  текс  $\times 3$  та зусиллі відтягування  $Q=1659,85$  сН. Поверхнева густина трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток досягає максимального рівня  $m_s=327,4$  г/м<sup>2</sup> при  $T=44$  текс  $\times 3$  та зусиллі відтягування полотна  $Q=2842,94$  сН.

На рис. 2.15–2.16 представлено поверхні, що характеризують вплив технологічних факторів на товщину трикотажу переплетень гладь та ластик, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток. Представлені



поверхні ілюструють, що зі збільшенням лінійної густини товщина трикотажу збільшується як для переплетення ластик, так і для переплетення гладь. Максимального рівня товщина трикотажу переплетення гладь  $M=1,18$  мм досягає за умови лінійної густини  $T=44$ тексХ3 текс, а трикотажу переплетення ластик  $M=1,89$  мм за лінійної густини  $T=44$ тексХ3. При цьому зусилля відтягування полотна не має суттєвого впливу на товщину трикотажу в діапазоні максимальної лінійної густини трикотажу.

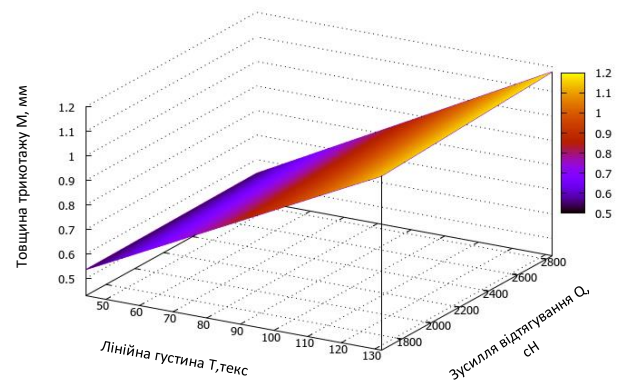
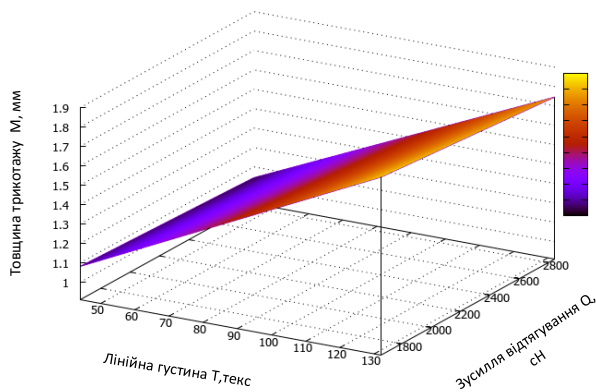


Рис. 2.15 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для товщини трикотажу, виробленого переплетенням ластик з поліетиленової нитки

Рис. 2.16 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для товщини трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленової нитки

На рис. 2.17–2.20 представлено поверхні, що характеризують вплив умов в'язання на щільність трикотажу. На щільність трикотажу по горизонталі лінійна густина має лінійний вплив. У разі вироблення трикотажу переплетенням ластик зі збільшенням зусилля відтягування щільність по горизонталі зменшується, тобто трикотаж переплетення ластик має максимальний рівень щільності по горизонталі ( $N_c=75$ пет.ст.) при мінімальному зусиллі відтягування  $Q=1659,85$ сН та мінімальній лінійній густині ниток  $T=44$ текс. Для трикотажу переплетення гладь щільність по горизонталі досягає максимального рівня ( $N_c=66$ пет.ст.) при максимальному зусиллі відтягування полотна  $Q=2842,94$ сН та мінімальному рівні лінійної густини  $T=44$  текс.

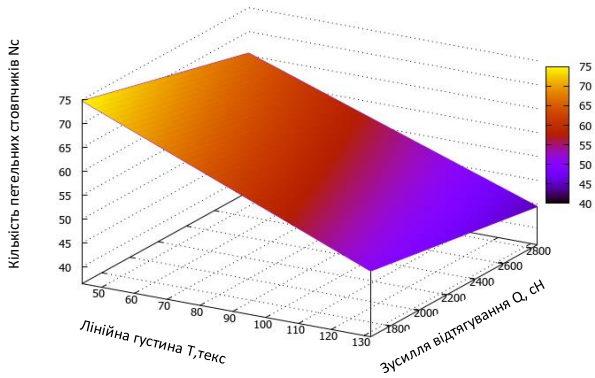


Рис. 2.17 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по горизонталі  $N_c$  трикотажу, виробленого переплетенням ластик з поліетиленової нитки

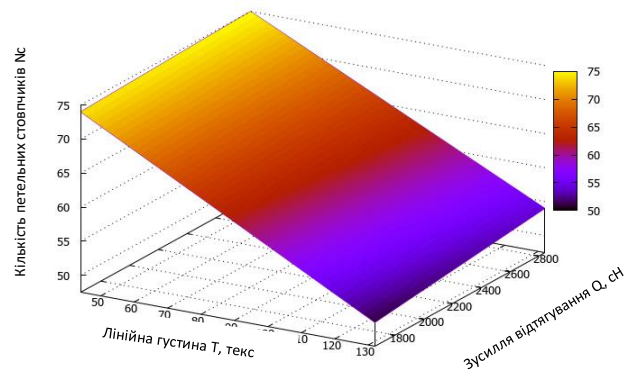


Рис. 2.18 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по горизонталі  $N_c$  трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленової нитки

Вплив технологічних факторів на щільність трикотажу по вертикалі (рис. 2.19–2.20) переплетень гладь та ластик відрізняється. Основною відмінністю є вплив фактору зусилля відтягування полотна. Для трикотажу переплетення ластик кількість петельних рядів у незначній мірі збільшується зі збільшенням зусилля відтягування, а для трикотажу переплетення гладь даний фактор є суттєвим, що пов'язано з особливостями структуроутворення одинарного та подвійного кулірного трикотажу.

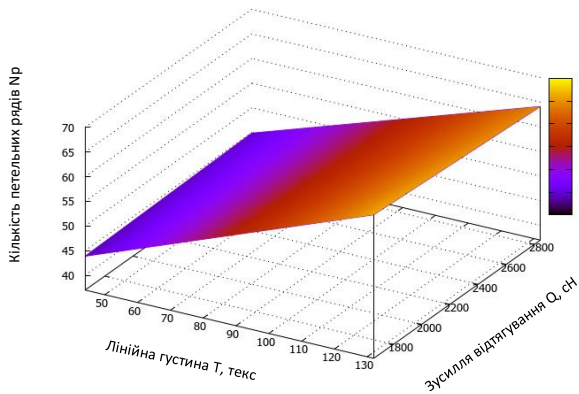


Рис. 2.19 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по вертикалі  $N_p$  трикотажу, виробленого переплетенням ластик з поліетиленової нитки

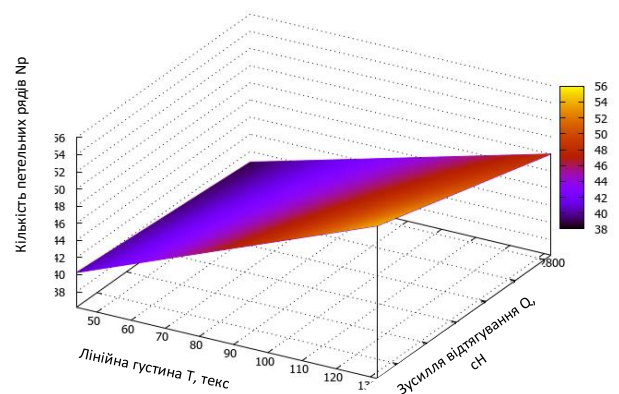


Рис. 2.20 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для щільності по вертикалі  $N_p$  трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленової нитки

Максимального рівня щільності по вертикалі  $N_p=54$  пет.р. трикотаж переплетення гладь досягає за умови максимального рівня лінійної густини  $T=44\text{тексХ3}$  та мінімального зусилля відтягування  $Q=1659,85\text{сН}$ . Щільність по вертикалі трикотажу переплетення ластик досягає максимального рівня  $N_p=66$  пет.р. при максимальному рівні лінійної густини  $T=44\text{тексХ3}$  та мінімальному зусиллі відтягування  $Q=1659,85\text{сН}$ .

## **2.2 Вплив параметрів в'язання на характеристики міцності високоміцних ниток після їх переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик**

Оскільки питання переробки високоміцних ниток у трикотаж не досить вивчене та їх міцність під час експлуатації виробів є одним з найважливіших показників, то є необхідність у визначенні міцнісних характеристик поліетиленових та параарамідних ниток після їх переробки у текстильний матеріал та виявлення факторів процесу в'язання, які впливають на втрату їх вихідних властивостей.

За аналогією до п.2.1.1–2.1.2 використано метод математичного моделювання та регресійного аналізу. Відповідно до трифакторного експерименту експериментально на розривній машині у відповідності до ДСТУ ISO 2062:2004 [6] встановлені розривні характеристики ниток після їх переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик за параметрів в'язання згідно матриці планування.

Для проведення випробувань застосовують розривні машини з постійною швидкістю зростання навантаження, з постійною швидкістю 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 параарамідні та високомолекулярні поліетиленові нитки відносяться до високоміцних, то для визначення розривних характеристик обрано розривну машину КТ–7010AZ.

Таблиця 2.5

## Технічна характеристика розривної машини КТ–7010AZ

1	найбільше граничне навантаження	при розтягу – 100 кгс, при стиску – 100 кгс
2	діапазон вимірювання навантажень	0,1 – 100 кгс
3	абсолютна чутливість вимірювача	0,050 кг на всьому діапазоні вимірювання
4	швидкість опускання активного затискача	40 – 2000 мм/хв
5	відстань між затискачами	10– 500 мм
6	робочий хід активного затискача	800 мм

Видовження при розриві ниток визначаємо одночасно з визначенням розривального навантаження методом розриву однієї нитки. Відстань між затискачами розривної машини приймаємо рівним  $500 \pm 1$  мм. Швидкість опускання нижнього затискача розривної машини встановлено відповідно до виду сировини.

Кількість проб з одного виду сировини при визначенні розривального навантаження методом розриву однієї нитки для обраних видів ниток складає 5 одиничних проб. Кожний вид трикотажу розпущено та підготовлено елементарні проби. Для розривної машини КТ–7010AZ та обраної нами сировини довжина нитки однієї проби складала 1 метр. Попереднє навантаження на нитку встановлено відповідно до властивостей та лінійної густини ниток, яка в нашому випадку складає 44текс; 44тексХ3; 58,8текс та 58тексХ2.

Для уникнення проковзування та перекушування ниток у плоских затискачах розривної машини допускається застосування равликових, ексцентрикових кулачкових затискачів або прокладок. У нашому випадку

випробування проведено в плоских затискачах із застосуванням прокладок для уникнення проковзування ниток у затискачах розривної машини.

Слід зауважити, що попередні експериментальні дослідження розривних характеристик високоміцних ниток дозволили з'ясувати, що для високомолекулярних поліетиленових ниток, на відміну від параарамідних, виявилось непридатним використання стандартних затискачів лише із прокладками. Для визначення розривального навантаження на машині КТ–7010AZ нитка намотувалась на одну частину контактної стрічки типу «липучка» та з'єднувалась із другою частиною стрічки, що забезпечило необхідну адгезію. Далі нитка, затиснена у стрічку, встановлювалась у затискачі розривної машини типу лещата (плоскі затискачі).

Під час випробувань міцності ниток до та після в'язання показання шкал розривної машини знімали в момент першої зупинки стрілки силовимірювача, через неодноразовий розрив окремих елементарних ниток. При цьому результати розривального навантаження ниток, розрив яких відбувався на відстані менше 5 мм від затискачів розривної машини, не враховували.

За фактичне розривальне навантаження  $P$  та фактичне видовження при розриві ниток  $L$  приймають середнє арифметичне результатів усіх первинних випробувань.

Видовження при розриві %, обчислено за формулою:

$$L = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 \quad (2.1)$$

де  $\Delta L$  – показник видовження при розриві, мм;

$L_0$  – затискна довжина, мм. В нашому випадку складає 500 мм.

У якості показника втрати міцності обрано, показник використання міцності  $Y_p$ , який визначено за наступною залежністю:

$$Y_p = \frac{P_1}{P_0} \cdot 100, \% \quad (2.2)$$

де  $P_0$  – розривальне навантаження на нитку до в'язання, кгс;

$P_1$  – розривальне навантаження на нитку після в'язання, кгс.

Тоді величину втрати міцності нитки у процесі її переробки в структуру трикотажу визначено за наступною залежністю:

$$V_p = 100 - Y_p, \% \quad (2.3)$$

Попередньо експериментальним шляхом встановлено величину розривального навантаження на нитку до в'язання, як становить: для параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс  $P_0=10,03$ кгс (питоме розривальне навантаження 0,17кгс/текс), для 58,8тексХ2  $P_0=18$ кгс (питоме розривальне навантаження 0,15кгс/текс); для поліетиленової нитки 44текс  $P_0=9,31$ кгс (питоме розривальне навантаження – 0,21кгс/текс), для 44тексХ3  $P_0=23$ кгс (питоме розривальне навантаження – 0,17кгс/текс).

### 2.2.1 Встановлення впливу умов в'язання трикотажу на характеристики міцності параарамідних ниток

На підставі отриманих даних експериментальних досліджень, з використанням методів статистичної обробки даних для регресійної багатофакторної моделі першого порядку (Додаток А) встановлено залежності, що описують взаємозв'язок між параметрами в'язання та характеристиками міцності параарамідних ниток після в'язання.

У таблиці 2.6 представлено встановлені у ході реалізації повного трифакторного експерименту регресійні математичні залежності у кодованому та натуральному вигляді.

Таблиця 2.6

Результати обробки експериментальних даних для параарамідної нитки

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	у кодованому вигляді	у натуральному вигляді
Вид переплетення: гладь		
розривальне навантаження, кгс	$Y_R = 11,97 + 3,83x_1 + 0,54x_2 - 0,54x_3 + 0,21x_1x_2 - 0,12x_1x_3$	$P = 1,65 + 1,03 \cdot 10^{-1}T - 0,15h - 3,15 \cdot 10^{-4}Q + 1,4 \cdot 10^{-2}Th - 6,77 \cdot 10^{-6}TQ$

## Продовження таблиці 2.6

питоме розривальне навантаження, кгс/текс	$Y_R = 0,14 - 2 \cdot 10^{-3} x_1 + 6 \cdot 10^{-3} x_2 - 6,4 \cdot 10^{-3} x_3 + 7,9 \cdot 2 \cdot 10^{-4} x_1 x_3 - 6,7 \cdot 10^{-4} x_2 x_3 + 7,9 \cdot 10^{-4} x_1 x_2 x_3$	$P_{num} = 0,07 + 1,59 \cdot 10^{-5} Q + 0,04h + 4,4 \cdot 10^{-4} T - 1,02 \cdot 10^{-5} hQ - 2 \cdot 10^{-4} Th - 2,26 \cdot 10^{-7} TQ + 9,05 \cdot 10^{-8} ThQ$
втрата міцності, %	$Y_R = 15,56 - 3,31x_1 - 3,74x_2 + 3,39x_3 - 0,4x_1x_2 + 0,39x_2x_3 - 0,46x_1x_2x_3$	$B_{миц} = 66,47 - 0,39T - 18,65h - 0,01Q + 0,93 \cdot 10^{-1} Th - 0,53 \cdot 10^{-4} ThQ + 0,6 \cdot 10^{-2} hQ + 0,16 \cdot 10^{-3} TQ$
<b>Вид переплетення: ластик</b>		
розривальне навантаження, кгс	$Y_R = 11,54 + 3,83x_1 + 0,28x_2 - 0,36x_3$	$P = 0,57h - 0,6 \cdot 10^{-3} Q + 0,13T - 0,28$
питоме розривальне навантаження, кгс/текс	$Y_R = -0,13 + 0,03x_2 - 4 \cdot 10^{-3} x_3$	$P_{num} = 0,13 + 5,6 \cdot 10^{-3} h - 7,26 \cdot 10^{-6} Q$
втрата міцності, %	$Y_R = 18,86 - 4,23x_1 - 1,78x_2 + 2,64x_3$	$B_{миц} = -3,55h + 0,44 \cdot 10^{-2} Q - 0,14T + 32,17$

На підставі одержаних регресійних залежностей побудовано поверхні (рис. 2.21–2.26), які наглядно ілюструють характер впливу лінійної густини, глибини кулірування та зусилля відтягування полотна на розривальне навантаження та втрату міцності параарамідних ниток після в'язання.

На рис. 2.21–2.22 представлено геометричні інтерпретації впливу лінійної густини та зусилля відтягування полотна на величину розривального навантаження, яке витримує параарамідна нитка після її переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик. При цьому глибину кулірування фіксуємо на мінімальному рівні ( $h=2,5$ мм). Слід зауважити, що максимальне розривальне навантаження, яке витримує параарамідна нитка лінійної густини 58,8тексХ2 після її переробки в структуру трикотажу переплетень ластик та гладь складає 16 кгс. Таким чином, у разі використання високоміцних параарамідних ниток не залежно від структури переплетення за однакових параметрів в'язання їх міцнісні властивості після переробки в структуру трикотажу однакові.

Окрім того, характер впливу факторів аналогічний – зі збільшенням лінійної густини розривальне навантаження на нитку зростає. Зусилля відтягування не має суттєвого впливу на характеристики міцності параарамідних ниток після в'язання.

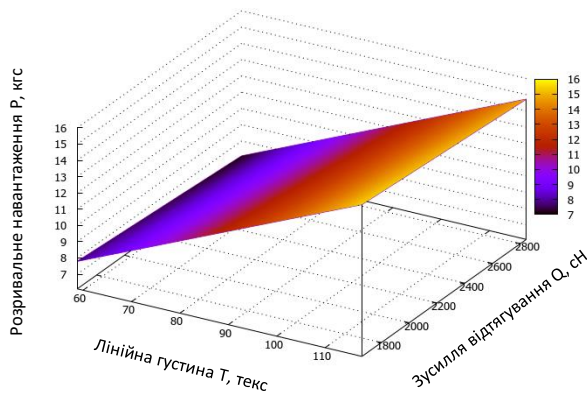


Рис 2.21 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для розривального навантаження на параарамідну нитку з трикотажу переплетення ластик

Розглянемо вплив параметрів в'язання на питоме розривальне навантаження у перерахунку на одиницю лінійної густини (рис. 2.23–2.24).

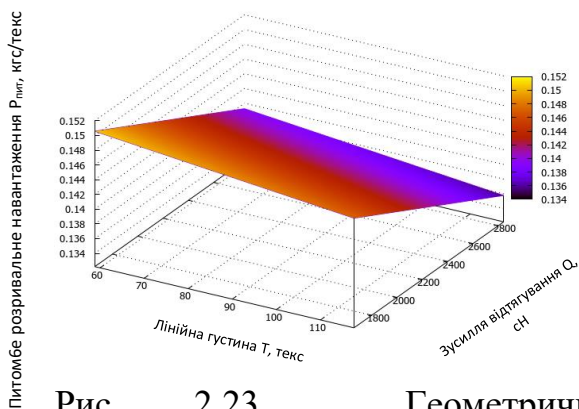


Рис. 2.23 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для питомого розривального навантаження параарамідної нитки з трикотажу переплетення ластик

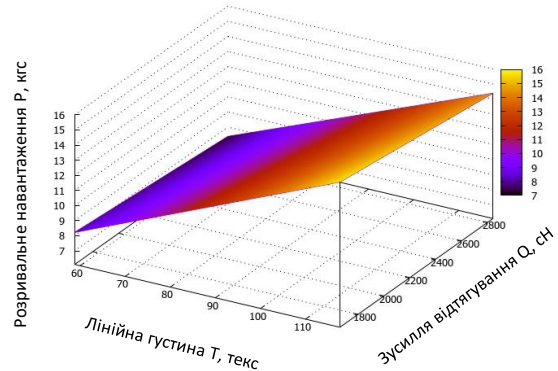


Рис 2.22 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для розривального навантаження на параарамідну нитку з трикотажу переплетення гладь

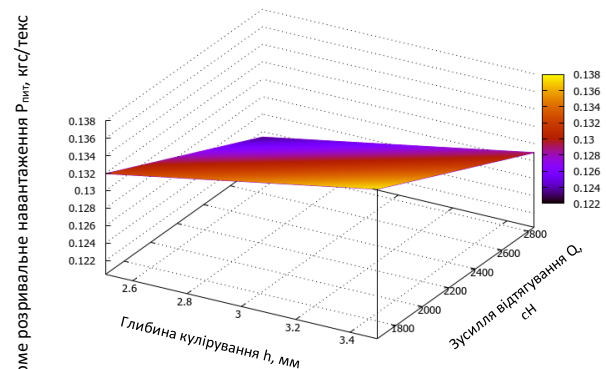


Рис. 2.24 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для розривального навантаження параарамідної нитки з трикотажу переплетення гладь

Під час виконання регресійного аналізу виявлено, що у разі вироблення трикотажу переплетенням гладь на величину питомого розривального навантаження лінійна густина нитки виявилася не впливовим фактором.

Максимальна величина питомого розривального навантаження у разі вироблення трикотажу переплетенням гладь ( $P_{нит}=0,138\text{кгс/текс}$ ) досягається при максимальному рівні глибини кулірування ( $h=3,5\text{мм}$ ) та мінімальному зусиллі відтягування полотна ( $Q=1659,85\text{сН}$ ). Максимального рівня питоме розривальне навантаження ( $0,152\text{кгс/текс}$ ) досягає у разі вироблення трикотажу переплетенням ластик за умови мінімального рівня лінійної густини  $T=58,8\text{текс}$  та зусилля відтягування  $Q=1659,85\text{сН}$ .

У відповідності до одержаних регресійних залежностей, що описують вплив параметрів в'язання на втрату міцності нитки в процесі в'язання будуюмо поверхні (рис 2.25–2.26), які ілюструють властивість зберігання нитки міцнісних властивостей після переробки її у структуру трикотажу переплетень гладь та ластик. Величину втрати міцності розраховано за формулою 2.3.

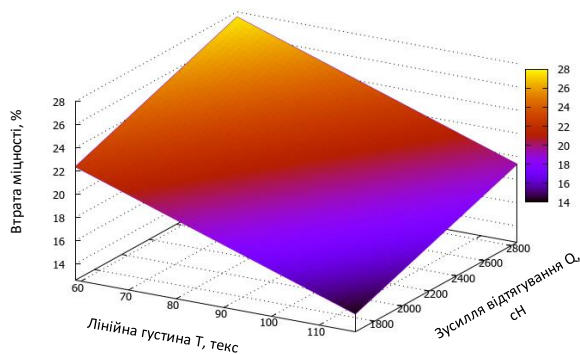


Рис. 2. 25 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для втрати міцності параарамідної нитки з трикотажу переплетення ластик

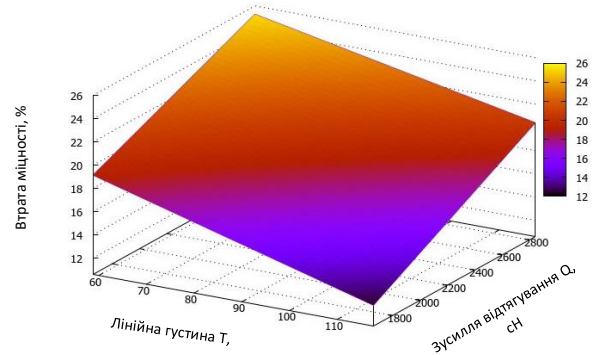


Рис. 2.26 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для втрати міцності параарамідної нитки з трикотажу переплетення гладь

Поверхні, наведені на рис. 2.25 та 2.26, описують вплив умов в'язання на втрату міцності параарамідних ниток у процесі їх переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик. Слід зазначити, що на втрату міцності має вплив і лінійна густина, і зусилля відтягування полотна за умови встановлення величини глибини кулірування на мінімальному рівні ( $h=2,5\text{мм}$ ). Характер впливу факторів аналогічний, за виключенням того, що максимальна величина втрати міцності параарамідної нитки, переробленої у структуру

трикотажу переплетення ластик складає 28%, а у структуру гладі – 26 %. Максимальна величина втрати міцності ниток, незалежно від виду переплетення, досягається при мінімальному рівні лінійної густини  $T=58,5$ текс та максимальному зусиллі відтягування полотна  $Q=2842,94$ сН.

### 2.2.2 Встановлення впливу умов в'язання трикотажу на характеристики міцності високомолекулярних поліетиленових ниток

На підставі отриманих даних експериментальних досліджень, з використанням методів статистичної обробки даних для регресійної багатофакторної моделі першого порядку встановлено залежності, що описують взаємозв'язок між умовами в'язання та показниками втрати міцності поліетиленових ниток після в'язання.

У таблиці 2.6 представлено встановлені у ході реалізації повного трифакторного експерименту регресійні математичні залежності у кодованому та натуральному вигляді.

Таблиця 2.7

Результати обробки експериментальних даних для поліетиленової нитки

Назва показника	Регресійна математична залежність	
	у кодованому вигляді	у натуральному вигляді
Вид переплетення: гладь		
розривальне навантаження, кгс	$Y_r = 13,35 + 5,93x_1 + 0,45x_2 - 0,58x_3 + 0,23x_1x_2$	$P = 3,7 + 0,1T + 0,002 \cdot 10^{-3}h - 9,8 \cdot 10^{-4}Q + 0,01Th$
питоме розривальне навантаження, кгс/текс	$Y_r = 0,16 - 0,01x_1 + 5,15 \cdot 10^{-3}x_2 - 8,26 \cdot 10^{-3}x_3$	$P_{num} = 0,01h - 1,4 \cdot 10^{-5}Q - 2,6 \cdot 10^{-4}T + 1,8 \cdot 10^{-2}$
втрата міцності, %	$Y_r = 18,23 - 2,06x_1 - 2,69x_2 + 4,15x_3$	$B_{миц} = 24,77 - 5,39h + 0,7 \cdot 10^{-2}Q - 0,07T$
Вид переплетення: ластик		
розривальне навантаження, кгс	$Y_r = 14,6 + 6,29x_1 + 0,83x_2 - 0,52x_3 + 0,44x_1x_2 + 0,81x_2x_3 + 0,54x_1x_2x_3$	$P = -1,65 + 0,36T + 1,88h + 1,8 \cdot 10^3Q - 0,07Th - 1,2 \cdot 10^{-4}TQ - 8,8 \cdot 10^{-4}hQ + 4 \cdot 10^{-4}ThQ$

## Продовження таблиці 2.7

питоме розривальне навантаження, кгс/текс	$Y_r = 0,17 - 1,5 \cdot 10^{-2} x_1 + 0,92 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,74 \cdot 10^{-2} x_3 + 0,29 \cdot 10^{-2} x_1 x_3 + 0,82 \cdot 10^{-2} x_2 x_3 + 0,2 \cdot 10^{-2} x_1 x_2 x_3$	$P_{\text{нит}} = 0,3 + 0,39 \cdot 10^{-3} T - 6,69 \cdot 10^{-5} Q - 1,5 \cdot 10^{-2} h + 1,48 \cdot 10^{-5} hQ - 0,33 \cdot 10^{-3} Th - 3,28 \cdot 10^{-7} TQ + 1,48 \cdot 10^{-7} ThQ$
втрата міцності, %	$Y_r = 10,04 - 0,71x_1 - 4,77x_2 + 3,81x_3 - 1,07x_1x_3 - 4,31x_2x_3 - 1,37x_1x_2x_3$	$B_{\text{міц}} = -16,11 + 1,65h + 0,02Q - 0,63T - 0,5 \cdot 10^{-2} hQ + 0,24Th + 0,27 \cdot 10^{-3} TQ - 0,1 \cdot 10^{-3} ThQ$

На підставі одержаних регресійних залежностей побудовані поверхні (рис. 2.27–2.32), які наглядно ілюструють характер впливу лінійної густини, глибини кулірування та зусилля відтягування полотна на величину розривального навантаження та втрату міцності високомолекулярних поліетиленових ниток після їх переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик.

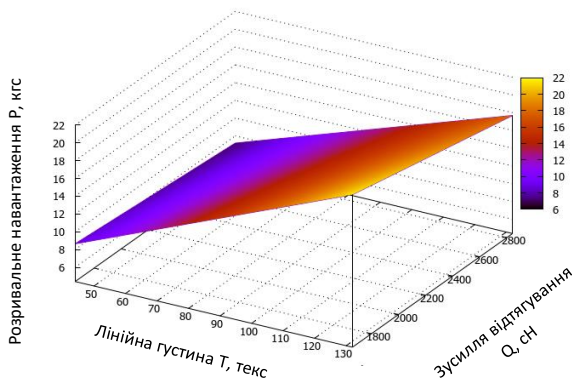


Рис. 2.27 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для розривального навантаження на поліетиленову нитку з трикотажу переплетення ластик

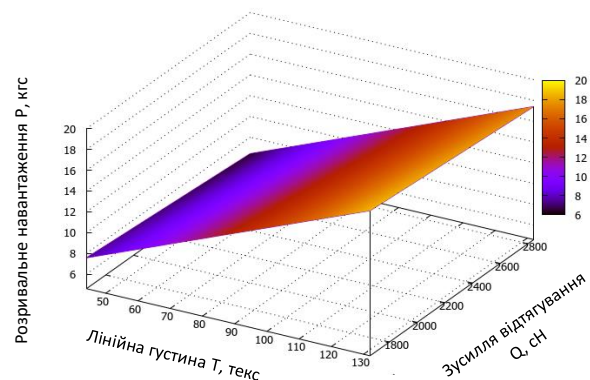


Рис. 2.28 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для розривального навантаження на поліетиленову нитку з трикотажу переплетення гладь

На підставі поверхонь, наведених на рис. 2.27 та 2.28, можна зробити висновок, що характер впливу факторів для переплетень гладь та ластик аналогічний: зі збільшенням лінійної густини розривальне навантаження на нитку зростає, а зі зменшенням зусилля відтягування не суттєво, але збільшується.

Максимальна величина розривального навантаження на поліетиленову нитку для переплетення гладь складає  $P=20,34$ кгс за умови лінійної густини



$T=44$ тексХ3 та зусилля відтягування  $Q=1659,85$ сН. Максимальна величина розривального навантаження для трикотажу переплетення ластик складає  $P=21,41$ кгс у разі лінійної густини  $T=44$ тексХ3 та зусилля відтягування  $Q=1659,85$ сН.

Поверхні, представлені на рис. 2.29 та 2.30, ілюструють вплив умов в'язання на пито́ме розривальне навантаження на високомолекулярну поліетиленову нитку із розрахунку на одиницю лінійної густини після її переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик. Слід відзначити, що характер впливу факторів ідентичний. Єдиною відмінністю є те, що максимальна величина пито́мого розривального навантаження для трикотажу переплетення гладь складає  $0,176$ кгс/текс, а для ластика –  $0,2$  кгс/текс. Максимального рівня пито́мого розривального навантаження для даних видів переплетень досягається за умови мінімальної лінійної густини  $T=44$ текс та мінімального зусилля відтягування  $Q=1659,85$ сН.

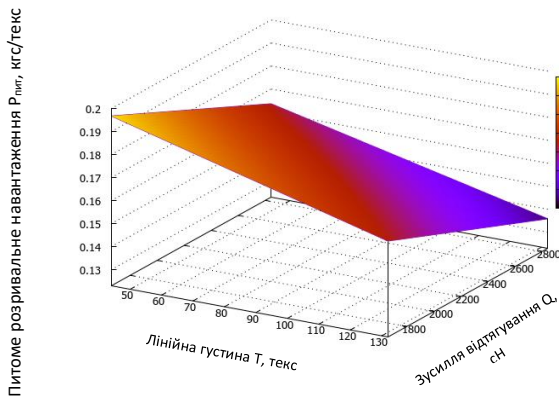


Рис 2.29 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для пито́мого розривального навантаження поліетиленової нитки з трикотажу переплетення ластик

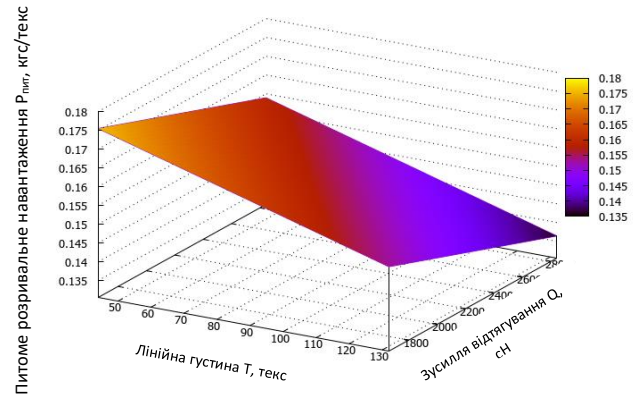


Рис 2.30 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Y_r$  для пито́мого розривального навантаження поліетиленової нитки з трикотажу переплетення гладь

Поверхні, наведені на рис. 2.31 та 2.32, ілюструють вплив умов в'язання на втрату міцності поліетиленових ниток у результаті їх переробки в структуру трикотажу переплетень гладь та ластик. З одержаних на рис. 2.31 та 2.32 поверхонь видно, що на втрату міцності поліетиленових ниток впливає і лінійна густина нитки, і зусилля відтягування полотна за умови встановлення глибини

кулірування на мінімальному рівні ( $h=2,5$ ). Цікаво, що на втрату міцності ниток переплетення ластик лінійна густина має менш суттєвий вплив порівняно з переплетенням гладь. При цьому зі збільшенням зусилля відтягування втрата міцності зростає, що пояснюється особливостями структуроутворення трикотажу подвійного переплетення. Максимальна втрата міцності нитки, переробленої в структуру трикотажу переплетення ластик, під дією зазначених факторів досягає 23,12% ( $T=44$ текс,  $Q=2842,94$ сН). Для переплетення гладь вплив факторів інакший: зі збільшенням зусилля відтягування полотна до  $Q=2842,94$ сН та при мінімальному рівні лінійної густини  $T=44$ текс втрата міцності високомолекулярної поліетиленової нитки досягає максимальної величини 28,87%.

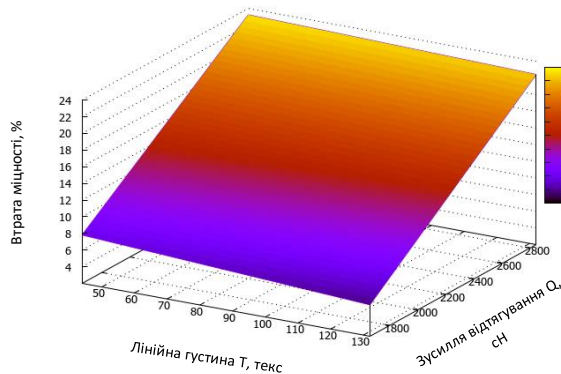


Рис 2.31 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Yr$  для втрати міцності поліетиленової нитки з трикотажу переплетення ластик

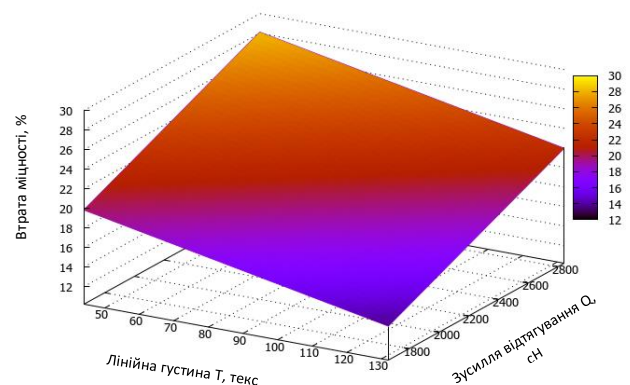


Рис 2.32 Геометрична інтерпретація одержаної регресійної залежності  $Yr$  для втрати міцності поліетиленової нитки з трикотажу переплетення гладь

### 2.3 Розробка комп'ютерних засобів проєктування кулірного трикотажу підвищеної міцності з заданими параметрами структури та характеристиками втрати міцності ниток після в'язання

Трикотаж підвищеної міцності для захисту від дії механічних ушкоджень повинен мати необхідні задані параметри та властивості в залежності від цільового призначення. В умовах виробництва технолог визначає необхідні параметри в'язання, що забезпечують задані параметри

петельної структури та властивості трикотажу, практично експериментальним шляхом методом підбору. Такий процес пошуку оптимальних рішень є трудомістким, тривалим у часі та приводить до збільшення витрат сировинних ресурсів. Трикотаж підвищеної міцності виготовляється з сировини високої вартості і підбір необхідних параметрів шляхом виготовлення реальних зразків може призвести до великих нераціональних фінансових витрат.

У ході пошуку оптимальних рішень зміна одного з параметрів структури трикотажу у заданих межах призводить до зміни його інших параметри, які на початковому етапі влаштовували технолога. Пошук оптимальних параметрів трикотажних полотен призводить до великої кількості експериментів на шляху одержання бажаного результату. З огляду на це виникає потреба в математичному розв'язанні задачі, яка пов'язана з пошуком компромісного співвідношення між усіма параметрами та властивостями високоміцного трикотажу з урахуванням можливого, спільного для усіх показників якості, діапазону вхідного параметра.

Крім того, вимогою до трикотажних полотен підвищеної міцності є максимальне збереження своїх першочергових характеристик міцності. Оскільки в процесі виготовлення нитка в залежності від виду переплетення та умов в'язання частково втрачає свої властивості, то з'являється необхідність пошуку оптимальних умов в'язання за умови максимального збереження міцності нитки після її переробки на в'язальному обладнанні.

Таким чином, вирішення проблеми проєктування заданих показників якості високоміцного трикотажу в залежності від параметрів режиму в'язання на основі математичного моделювання параметрів його структури та властивостей у відповідності до обраного виду високоміцної сировини та переплетення на сьогоднішній день є актуальним завданням для технологів трикотажних виробництв, що спеціалізуються на виробленні технічного трикотажу, зокрема для виготовлення засобів індивідуального захисту від дії механічних ушкоджень.

Кінцевою метою даного проєктування є вирішення питання розробки

рекомендованих технологічних режимів виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних ниток з урахуванням забезпечення заданих параметрів його структури та з максимальним збереженням міцності шляхом пошуку оптимальних рішень.

Поставлена задача пошуку параметрів в'язання, при яких показники якості досягають найкращих компромісних значень згідно до вимог, відноситься до класу задач пошуку оптимальних рішень. У залежності від виду переплетення трикотажу з високоміцних ниток через змінну  $x_i$  позначено такі параметри в'язання, як глибина кулірування, лінійна густина, зусилля відтягування полотна.

Значення  $x$  не можуть бути від'ємними, їх не можна змінювати, збільшувати або зменшувати необмежено, оскільки вони обмежені можливостями в'язального обладнання. При цьому цільові функції  $y_i$  задаємо у вигляді діапазону області допустимих значень. Для розв'язання такого роду задачі необхідно визначення компромісних значень технологічних параметрів обладнання ( $x_i$ ) при введених обмеженнях на показники якості ( $y_i$ ). Якість кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток пропонується оцінювати за такими показниками:

$y_1$  – поверхнева густина, г/м<sup>2</sup>;

$y_2$  – товщина трикотажу, мм;

$y_3$  – довжина нитки в петлі трикотажу у готовому вигляді (після ВТО), мм;

$y_4$  – кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу;

$y_5$  – кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;

$y_6$  – розривальне навантаження, кгс;

$y_8$  – питоме розривальне навантаження кгс/текс;

$y_9$  – втрата міцності, %.

У ході проведених експериментальних досліджень, які викладені у пунктах 2.1–2.2, отримано математичні регресійні моделі, що пов'язують властивості та параметри кулірного трикотажу з сировини підвищеної

міцності з основними параметрами режиму в'язання, у нашому випадку для трикотажу переплетень ластик 1+1 та гладь – це глибина кулірування, зусилля відтягування та лінійна густина сировини.

У відповідності до виду переплетення кулірного трикотажу та виду сировини, встановлено обмеження на зазначені вище параметри структури та властивості трикотажу з урахуванням математичних регресійних моделей. Встановлені діапазони показників якості кулірного трикотажу – параметрів структури та властивостей наведено у таблицях 2.8–2.11.

Таблиця 2.8

Трикотаж переплетення гладь, вироблений з високомолекулярної поліетиленової нитки

Показник	значення показника якості	
	min	max
1	2	3
поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	117,6	327,4
товщина трикотажу, мм;	0,52	1,18
довжина нитки в петлі, мм;	7,7	8,8
кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу;	51	80
кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	33	54
розривальне навантаження, кгс;	6,62	20,34
питоме розривальне навантаження кгс/текс;	0,13	0,18
втрата міцності, %.	11,57	28,87

Таблиця 2.9

Трикотаж переплетення ластик, вироблений з високомолекулярної поліетиленової нитки

Показник	значення показника якості	
	min	max
1	2	3
поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	207,8	576,8
товщина трикотажу, мм;	0,91	1,86
довжина нитки в петлі, мм;	12,7	14,6
кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу;	43	75

Продовження таблиці 2.9

кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	35	66
розривальне навантаження, кгс;	7,19	22,92
питоме розривальне навантаження, кгс/текс;	1,34	2,02
втрата міцності, %.	1,02	23,12

Таблиця 2.10

Трикотаж переплетення гладь, вироблений з параарамідної нитки

Показник	значення показника якості	
	min	max
1	2	3
поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	143,7	307,2
товщина трикотажу, мм;	0,48	0,92
довжина нитки в петлі, мм;	7,65	8,68
кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу;	37	51
кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	51	61
розривальне навантаження, кгс;	7,47	17,18
питоме розривальне навантаження, кгс/текс;	0,12	0,15
втрата міцності, %.	4,53	25,56

Таблиця 2.11

Трикотаж переплетення ластик з параарамідної нитки

	значення показника якості	
	min	max
1	2	3
поверхнева густина, г/м <sup>2</sup> ;	309,6	673,6
товщина трикотажу, мм;	1,10	2,36
довжина нитки в петлі, мм;	12,00	14,75
кількість петельних стовпчиків у 100 мм трикотажу;	32	50
кількість петельних рядів у 100 мм трикотажу;	59	80
розривальне навантаження, кгс;	7,38	16,38
питоме розривальне навантаження, кгс/текс;	0,12	0,14
втрата міцності, %.	9,00	26,42

З метою вирішення поставленої задачі розроблено комп'ютерну програму проектування параметрів та властивостей кулірного трикотажу переплетення гладь та ластик, виробленого з високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток, що дає змогу швидко у автоматичному режимі проектувати параметри структури трикотажу та його властивості, отримувати необхідний результат. Програма дозволяє знайти найкращий діапазон значень фактора  $x$ , при якому обрані параметри та властивості трикотажу набуватимуть таких значень, які б задовольняли поставленим вимогам до якості високоміцного трикотажу за умови знаходження фактора в реально існуючому діапазоні. Програмою передбачено два режими здійснення розрахунків: режим моделювання та режим прогнозування.

*Режим моделювання* передбачає здійснення технологічних розрахунків за одержаними у ході реалізації активного експерименту математичними залежностями, що описують вплив параметрів в'язання на параметри структури та характеристики міцності кулірного трикотажу в залежності від виду переплетення та обраних видів сировини. Зазначені математичні залежності представлено у пунктах 2.1 та 2.2. Даний режим дозволяє без будь-яких ускладнень знайти значення відповідного показника якості. Необхідно ввести лише значення глибини кулірування, зусилля відтягування та лінійну густину ниток та отримати очікувані значення параметрів його структури та властивостей.

*Режим прогнозування* допомагає знайти найкращий діапазон області визначення вхідного параметра  $x$ , який забезпечить компромісно найкращу область значень  $y_i$  показників якості з введеними на них обмеженнями. Користувач обирає найбільш вагомі показники якості ( $y_i$ ) 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 моделювання. 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.

Програма дозволяє за короткий проміжок часу знайти найкращий варіант діапазону вхідного параметра, що задовольняє вимоги технолога до показників якості кулірного трикотажу, проаналізувати велику кількість варіантів розрахунку, досягти економії сировини та мінімізувати витрати часу на його проєктування та подальше впровадження у виробництво у відповідності до заданих показників якості.

Для створення програми використано мову програмування C# Windows forms, яка відповідає вимогам і запитам розробників сучасних додатків, та є відмінним інструментом для створення Windows додатків. Програма має не складний та інтуїтивно зрозумілий у використанні інтерфейс. Для зберігання отриманих результатів можливе зберігання Протоколу у вигляді текстового документу.

Програма має одне діалогове вікно, на якому розташовано меню «Файл» та меню «Довідка».

Меню «Файл» має наступні розділи: записати параметри до файлу; зчитати параметри з файлу; вихід. Тобто, при необхідності користувач може зберегти результати та відкрити збережені результати.

Меню «Довідка» містить інформацію щодо режимів та допомагає користувачеві користуватись інтерфейсом.



Програма має одне діалогове вікно, на якому розташовано три вкладки (рис.2.33): вибір виду переплетення; режим моделювання; режим прогнозування.

Вкладка «Вибір виду переплетення». При запуску програми з'являється автоматично активована вкладка «Вибір виду переплетення». На цій вкладці користувач здійснює вибір переплетення кулірного трикотажу та структури високоміцного трикотажу.

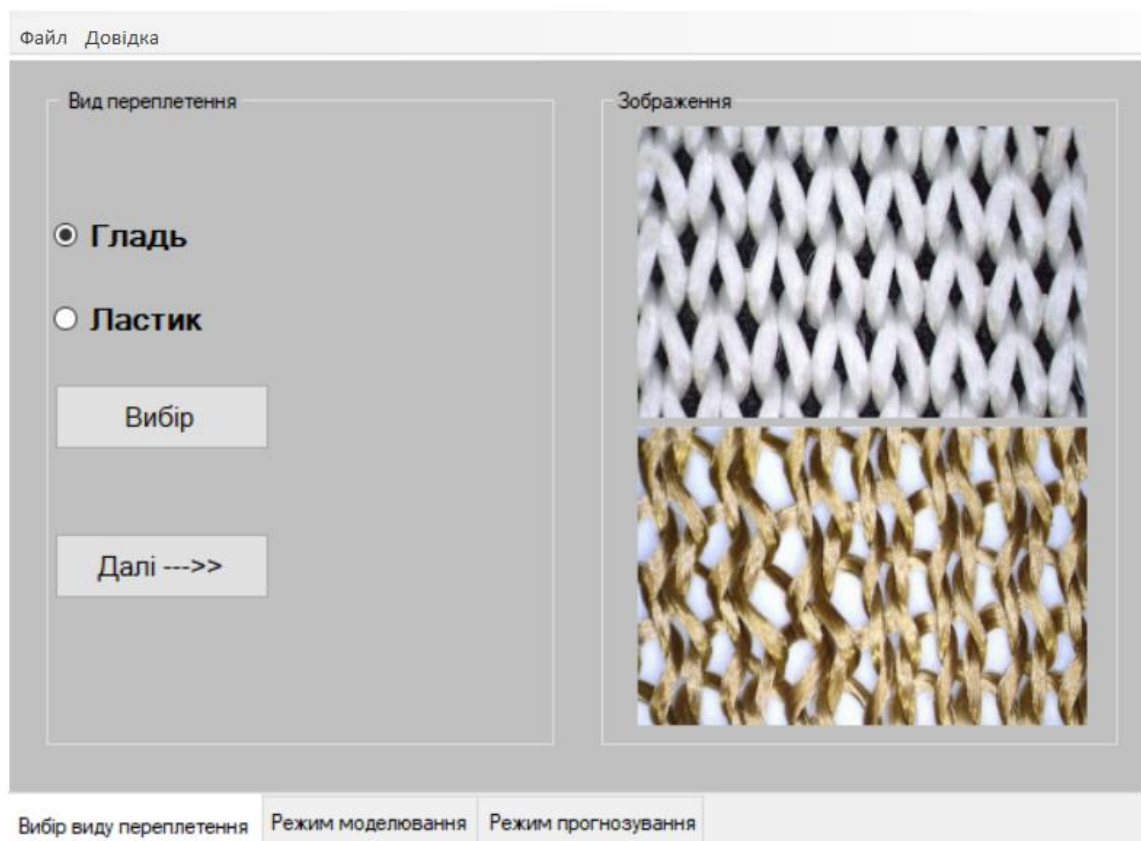


Рис.2.33 Діалогове вікно з трьома вкладками

Вкладка «Режим моделювання». При активуванні цієї вкладки з'являється вікно для вибору вхідного параметра та задавання його значення у можливому визначеному діапазоні. Якщо користувач обрав вхідний параметр, що не відповідає обраному переплетенню, то програма видаватиме помилку вибору параметра в'язання. На рис.2.34 представлено вікно вкладки «Режим моделювання». При введенні величини вхідного параметра в можливому діапазоні та при натисканні кнопки «Розрахувати» з'являється вікно з розрахованими очікуваними показниками якості.

Файл Довідка

**Вибрано вид переплетення Гладь**

Параарамідна нитка

Рекомендований діапазон вхідного параметра

**58.8**      **117.6**

Введіть значення:

Поліетиленова нитка

Рекомендований діапазон вхідного параметра

**44**      **132**

Введіть значення:

**Назад <---**

**Зусилля відтягування полотна**

Рекомендований діапазон вхідного параметра

**1659.85**      **2842.94**

Введіть значення:

**Глибина кулірування**

Рекомендований діапазон вхідного параметра

**2.5**      **3.5**

Введіть значення:

**Розрахувати**

Вибір виду переплетення    Режим моделювання    Режим прогнозування

Рис.2.34 Вікно вкладки «Режим моделювання»

При натисненні кнопки «Розрахувати» відкриваються результати, які при досягненні очікуваних результатів можливо зберегти (рис.2.35).

Файл Довідка

Результати

**Параметри структури**

1. Поверхнева густина, г/м<sup>2</sup>: 182,61
2. Товщина трикотажу, мм: 0,65
3. Довжина нитки в петлі трикотажу в готовому вигляді, мм: 8,45
4. Кількість пет.ст. у 100 мм трикотажу: 68,74
5. Кількість пет. р. у 100 мм трикотажу: 40,49

**Властивості**

Втрата міцність % : 10,32

Розривальне навантаження, кгс : 17,98

Питоме розривальне навантаження кгс/текс : 0,0028

**Сформувати протокол**

Рис.2.35 Вікно результатів вкладки «Режим моделювання»

При натисненні кнопки «Сформувати протокол» результати зберігаються у текстовий документ.

Вкладка «Режим прогнозування». Ця вкладка (рис. 2.36) містить вікна: вибору параметрів в'язання та найбільш вагомих показників якості кулірного трикотажу: параметрів структури чи властивостей. У разі, якщо користувачем обрано параметр в'язання, що не відповідає обраному переплетенню, то програма видаватиме помилку вибору параметра в'язання.

При натисканні кнопки «Параметри структури» (рис. 2.37) з'являється вікно, в якому користувач обирає найбільш вагомі параметри структури кулірного трикотажу. Параметри структури трикотажу мають «можливий діапазон» визначений розробником, що використовується за умовчання.

Рис. 2.36 Вікно вкладки «Режим прогнозування»

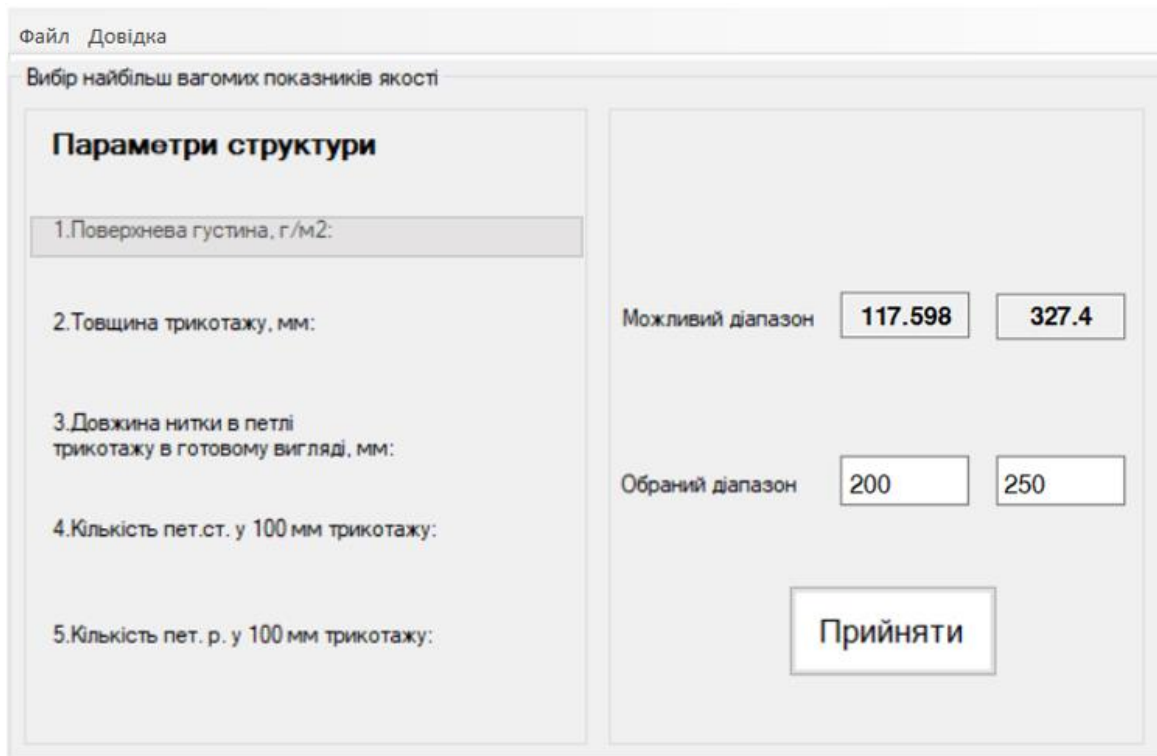


Рис. 2.37 Вікно вибору «Параметрів структури»

За необхідності користувач має можливість змінити діапазон цих параметрів. Для цього потрібно навести курсив на один із параметрів та обрати його, за умовчання активована поверхнева густина, як показано на рис. 2.37. За умовчання також активований можливий діапазон обраного параметра. Якщо користувач бажає змінити цей діапазон необхідно активувати «обраний діапазон» та ввести потрібні дані. Таким чином вводимо значення діапазонів інших вибраних параметрів структури трикотажу.

При натисканні у даному вікні кнопки «Прийняти» користувач переходить до вікна вибору найбільш вагомих властивостей трикотажу.

При натисканні кнопки «Властивості» з'являється вікно, в якому користувач обирає найбільш вагомі властивості трикотажу. Я якості властивостей обрано розривальне навантаження, питома розривальне навантаження та втрата міцності.

Властивості трикотажу мають «можливий діапазон», визначений розробником, що використовується за умовчання. При необхідності користувач має можливість змінити діапазон цих параметрів. Для цього потрібно навести курсив на один із параметрів та обрати його.

Натискання кнопки «Прийняти» після вибору найбільш вагомих властивостей та можливих їх діапазонів з'являється діалогове вікно з розрахованим діапазоном вхідного параметра, при якому можливо одержати трикотаж з заданими користувачем параметрами структури та властивостями. Якщо користувача задовольняє одержаний діапазон вхідного параметра, то при натисканні кнопки «Прийняти» відбувається автоматично розрахунок показників якості у зазначеному діапазоні вхідного параметра. З'являється вікно з результатами розрахунків. Якщо отримані результати задовольняють користувача, він може сформувати протокол натисненням кнопки «Сформувати протокол».

### Висновки до розділу 2

1. З метою встановлення закономірностей впливу параметрів в'язання на параметри структури кулірного трикотажу, виробленого з параарамідних й високомолекулярних поліетиленових ниток, та показники втрати їх міцності після в'язання заплановано та реалізовано трифакторний експеримент.

2. Визначені раціональні параметри в'язання трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток. Так трикотаж з мінімальною поверхневою густиною  $m_s$ , максимальною товщиною  $M$  та мінімальною втратою міцності для даних видів переплетень можна одержати за наступних параметрів в'язання:

- для трикотажу, виробленого переплетенням гладь з параарамідних ниток, за умови зусилля відтягування полотна  $Q=1659,85\text{сН}$ , лінійної густини нитки  $T=58,8\text{текс}$  та глибини кулірування  $h=3,5$  досягається мінімальний рівень втрати міцності, який складає 10,49%. При цьому трикотаж має поверхневу густину  $m_s=143,66\text{г/м}^2$ , довжину нитки в петлі  $\ell=8,5$  мм та товщину  $M=0,5\text{мм}$ ;

- для трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленових ниток раціональними параметрами структури, що забезпечують мінімальний рівень втрати міцності ниток 13,08% після їх переробки на в'язальному

обладнанні є поверхнева густина  $m_s=117,6 \text{ г/м}^2$ , довжина нитки в петлі  $\ell=8,4 \text{ мм}$  та товщина трикотажу  $M=0,52 \text{ мм}$ . Одержання трикотажу із зазначеними параметрами структури можливе за наступних параметрів в'язання: лінійна густина  $T=44 \text{ текс}$ , глибина кулірування  $h=3,5$ , зусилля відтягування  $Q=1659,85 \text{ сН}$ ;

- для виготовлення трикотажу з параарамідних ниток переплетенням ластик раціональними параметрами в'язання, що забезпечують мінімальний рівень втрати міцності ниток  $18,76\%$  після їх переробки на в'язальному обладнанні є зусилля відтягування полотна  $Q=1659,85 \text{ сН}$ , лінійна густина нитки  $T=58,8 \text{ текс}$  та глибина кулірування  $h=3,5$ . При цьому поверхнева густина трикотажу складає  $m_s=321 \text{ г/м}^2$ , довжина нитки в петлі  $\ell=14,5 \text{ мм}$ , товщина  $M=0,52 \text{ мм}$ ;

- для виготовлення трикотажу з поліетиленових ниток переплетенням ластик раціональними параметрами в'язання, що забезпечують мінімальний рівень втрати міцності ниток після їх переробки на в'язальному обладнанні у розмірі  $4,64\%$ , є лінійна густина ниток  $T=44 \text{ текс}$ , зусилля відтягування полотна  $Q=1659,85 \text{ сН}$  та глибина кулірування  $h=3,5 \text{ мм}$ . При цьому одержимо трикотаж з наступними параметрами структури: поверхнева густина  $m_s=215,2 \text{ г/м}^2$ , довжина нитки в петлі  $\ell=13,95 \text{ мм}$ ,  $M=1,098 \text{ мм}$ .

3. З використанням одержаних регресійних математичних залежностей розроблено комп'ютерну прикладну програму 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. Програма дозволяє знайти найкращий діапазон значень фактора, при якому обрані параметри та властивості трикотажу набуватимуть таких значень, які б задовольняли поставленим вимогам до якості високоміцного трикотажу за умови знаходження фактора в реально існуючому діапазоні.

4. Комп'ютерна програма передбачає два режими здійснення технологічних розрахунків: режим моделювання та режим прогнозування. У

режимі моделювання технолог має можливість за вказаними параметрами в'язання розрахувати параметри структури трикотажу та показники втрати міцності ниток після їх переробки на в'язальному обладнанні. У режимі прогнозування технолог має можливість ввести обмеження на параметри в'язання, параметри структури та показники втрати міцності і в результаті розрахунку в автоматичному режимі одержати раціональні параметри в'язання, що відповідають заданим вимогам.

5. Створена комп'ютерна програма вирішує питання розробки рекомендованих технологічних режимів виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних ниток з урахуванням забезпечення заданих параметрів його структури та з максимальним збереженням міцності шляхом пошуку оптимальних рішень. Програма дозволяє за короткий проміжок часу знайти найкращий варіант діапазону вхідного параметра, що задовольняє вимоги технолога до показників якості кулірного трикотажу, проаналізувати велику кількість варіантів розрахунку, досягти економії сировини та мінімізувати витрати часу на його проектування та подальше впровадження у виробництво у відповідності до заданих показників якості.

## **Список використаних джерел до розділу 2**

1. Ключко О. І. Дослідження у трикотажній промисловості: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. К.: КНУТД, 2006. 190 с.
2. 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 01-11-2018]. К.: Держспоживстандарт України, 2018.
3. ДСТУ ISO 5084:2004 Матеріали текстильні. Визначання товщини текстильних матеріалів та текстильних виробів (ISO 5084:1996, IDT). [Чинний від 01.01.2006.] К.: Держспоживстандарт України, 2005. IV, 5 с.
4. ДСТУ EN 14971:2018 Матеріали текстильні. Трикотажні полотна. Визначення кількості петель на одиницю довжини й одиницю площі (EN

- 14971:2006, IDT). [Чинний від 01.11.2018.] К.: Держспоживстандарт України, 2018.
5. 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 01.10.2009.] К.: Держспоживстандарт України, 2012. 8 с.
  6. ДСТУ ISO 2062:2004 Матеріали текстильні. Пряжа з паковань. Визначання розривального навантаження та видовження під час розривання (ISO 2062:1995, IDT).[Чинний від 01–01–2006]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 8 с.



**РОЗДІЛ 3**  
**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ВТОМІ НИТОК**  
**ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ У РЕЗУЛЬТАТІ ДІЇ**  
**ПРОТЯГОМ ДЕЯКОГО ЧАСУ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**  
**«РОЗТЯГУВАННЯ–ВИГИН–ТЕРТЯ»**

Нитка у процесі в'язання піддається численним згинанням починаючи з проходження через систему подачі нитки до формування петлі. Під дією численних деформацій вона втрачає свої вихідні міцнісні властивості, що в подальшому впливає на характеристики міцності трикотажу та виробу з нього. Для високоміцних ниток втрата вихідних міцнісних властивостей є однією з найважливіших проблем, оскільки область застосування таких ниток – виробництво технічного призначення для захисту від дії механічних ушкоджень.

З метою виготовлення трикотажу з прогнозованими характеристиками міцності пропонується розробити методику визначення опору втомі високоміцних ниток у результаті дії протягом деякого часу циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» та співставлення одержаних значень з втратою їх міцності у процесі в'язання при заданих умовах (глибина кулірування, зусилля відтягування, лінійна густина пряжі). Пропонується циклічні навантаження типу «розтягування–вигин–тертя» виконувати на навантажувальній установці для випробування кордних ниток типу 5–24–1 (рис. 3.1).

За результатами проведення експериментальних досліджень, що дозволять описати вплив кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на зміну втрати міцності нитки, планується отримати значення, які відповідатимуть навантаженню на нитку у процесі її переробки в структуру кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні.

### 3.1 Метод визначення втомних властивостей ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

#### 3.1.1 Принцип роботи навантажувальної установки для випробування кордних ниток типу 5–24–1

Для виконання випробування з визначення опору втомі зразок 1 нитки, одним кінцем закріплюють у затискачі 2, другий кінець пропускають послідовно через п'ять валиків 3, розташованих на рухомій каретці 4, яка примусово виконує зворотно–поступальний рух по напрямних, і навантажують перекинутим через напрямний диск вантажем 6. Хід каретки – 90 мм, швидкість – 60 подвійних ходів (циклів) за хвилину. Таким чином, випробний зразок нитки увесь час випробування перебуває під навантаженням, що розтягує його, а заправлення через п'ять валиків надає зразку нитки відповідний згин, місця прикладання якого до зразків ниток увесь час змінюються завдяки переміщенню валиків разом з кареткою. Затискач при цьому не повинен допускати проковзування заправної нитки.

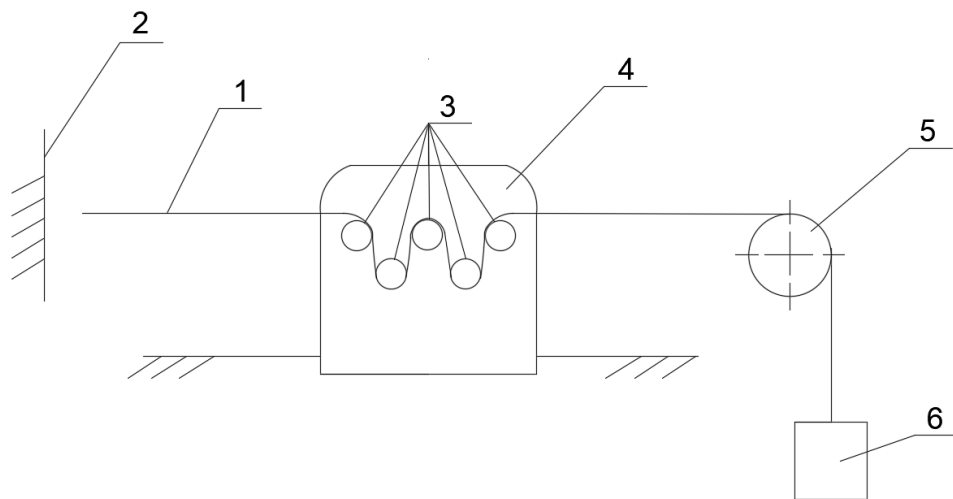


Рис. 3.1 Схема навантажувальної установки для випробування кордних ниток типу 5–24–1: 1 – випробний зразок; 2 – затискач; 3 – валики; 4 – каретка; 5 – напрямний диск; 6 – вантаж

У ході реалізації попереднього експерименту встановлено величину навантаження на зразок нитки під час проведення випробувань з визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя». Воно повинно становити 5% від попередньо

оціненої граничної міцності контрольних зразків нитки (масу вантажу округлюють до цілого числа).

### **3.1.2 Принцип оцінювання стійкості нитки до дії циклічних навантажень**

Принцип оцінювання стійкості до дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» полягає у порівнянні граничної міцності (у кгс) випробуваних зразків високоміцних ниток, які попередньо піддавались циклічним навантаженням, що знижують їх довговічність, та контрольних зразків, що не піддавали жодним діям над ними. Для визначення показника втрати міцності нитки до та після дії циклічних навантажень розривали на розривній машині КаоТієн КТ–7010AZ за однакових умов згідно з ДСТУ ISO 2062:2015 [1].

Оцінювання стійкості до дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» пропонується виконувати шляхом обчислення коефіцієнта збереження міцності  $K$  (у %) за формулою [2]:

$$K = \frac{P}{P_0} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

де  $P$  – середнє арифметичне значення показників граничної міцності всіх випробуваних зразків, кгс;  $P_0$  – середнє арифметичне значення показників граничної міцності всіх контрольних зразків, кгс.

Середні арифметичні значення граничних міцностей слід обчислювати з точністю до другого десяткового знаку та округлювати до першого десяткового знаку. Коефіцієнт збереження міцності обчислюємо до першого десяткового знаку й округлюємо до цілого числа.

### **3.1.3 Відбирання проб і підготовка випробних та контрольних зразків**

Кількість зразків для випробування повинна бути не менше п'яти, те саме – щодо контрольних. Довжина нитки повинна складати 500 мм. Перед

оцінюванням граничної міцності випробні та контрольні зразки кондиціюють в умовах згідно з ДСТУ ISO 139 [3] (за температури  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  та відносній вологості  $65\% \pm 5\%$ ) не менше ніж 24 год.

### **3.2 Визначення кількості циклічних навантажень для встановлення втомних властивостей високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток**

З метою розробки методики визначення опору втомі високоміцних ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя», що відповідають навантаженню на нитку у процесі її переробки в кулірний трикотаж переплетень гладь та ластик на плосков'язальному обладнанні, попередньо реалізовано пасивний експеримент.

Шляхом виконання попереднього експерименту встановлено величину навантаження на одну одиночну параарамідну нитку лінійної густини 58,8текс, що складає 600 г (10,2г/текс) та 1100 г – для параарамідної нитки 58тексХ2 (9,35г/текс); на одну одиночну поліетиленову нитку лінійної густини 44текс – 500 г (11,36г/текс) та 1000 г – для поліетиленової нитки 44тексХ3 (7,58г/текс).

Для даного експерименту «розтягування–вигин–тертя» виконано по 10 повторних дослідів ( $n=10$ ) для кожного випробування (кількості циклічних навантажень). Визначення опору втомі високоміцних ниток виконуємо у наступній послідовності:

а) кінець зразка з відміткою 50 мм затискаємо на цю величину в затискачі так, щоб ця відмітка співпадала з краєм затискача;

2) протягуємо зразок нитки вільним кінцем через валики і напрямний диск (рис. 3.2,3.3,3.4,3.5) та підвішуємо вантаж, масу якого визначаємо заздалегідь, виходячи з граничної міцності;

3) вмикаємо установку та відмічаємо за секундоміром необхідний час, що залежить від кількості циклів (для кожного виду сировини кількість циклів починаємо з 10 (10 секунд));

4) зразок звільняємо від вантажу із затискача, відрізаємо з обох кінців надлишок довжини так, щоб у необхідну довжину відрізка зразка нитки довжиною  $(50 \pm 1)$  мм для подальшого випробування щодо залишкової міцності умістилася та частина, яка піддавалася вигинанню довжиною в 90 мм (90 мм повинні бути посередині зразка нитки);

5) піддаємо вказаний вище зразок нитки довжиною  $(50 \pm 1)$  мм розривальним навантаженням для визначання його граничної міцності та порівнюємо результати з граничною міцністю контрольних зразків та визначаємо величину коефіцієнта збереження міцності  $K$  за формулою 3.1 (Додаток Г).

Втрату міцності визначаємо за формулою:

$$B_{миц} = 100 - K, \% \quad (3.2)$$

У ході виконання експерименту з визначення опору втомі внаслідок дії навантаження «розтягування–вигин–тертя» виявлено різний характер втрати міцності параарамідної та високомолекулярної поліетиленової ниток у процесі дії циклічних навантажень. На рис. 3.2–3.5 представлені високоміцні нитки, заправлені в установку типу 5–24–1 для визначення опору втомі.

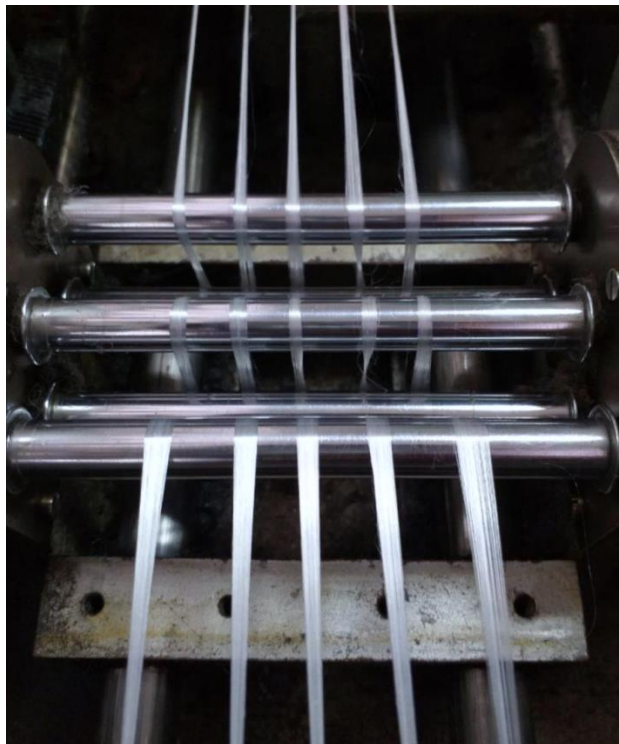


Рис. 3.2 Нитка поліетиленова  
лінійної густини 44тексХЗ



Рис. 3.3 Нитка поліетиленова  
лінійної густини 44текс



Рис. 3.4. Нитка параарамідна лінійної густини 58,8тексХ2



Рис. 3.5. Нитка параарамідна лінійної густини 58,8текс

Під дією циклічних навантажень руйнування високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток має свої особливості, які слід взяти до уваги при співставленні втрати міцності ниток різної лінійної густини. Так, характер руйнування параараамідної нитки є лінійним до кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя». У результаті випробувань «розтягування–вигин–тертя» параарамідна нитка, незалежно від її лінійної густини, руйнується по філаментам до повного розриву. У свою чергу високомолекулярна поліетиленова нитка змінює поведінку руйнування залежно від її лінійної густини. Нитка з високомолекулярного поліетилену під дією циклічних навантажень поступово вирівнюється на затискачах (роliках) у поліетиленове «полотно», яке ущільнюється у процесі ковзання на роliках. Таким чином, чим більша лінійна густина поліетиленової нитки, тим більша площа ущільненого поліетиленового «полотна», тим менше руйнування елементарних волокон. За результатами проведених досліджень можна стверджувати, що нитка з

високомолекулярного поліетилену спочатку, до вирівнювання, втрачає свою міцність, а потім, під дією полімерних зв'язків ущільнюється і відновлює свою міцність. У процесі довготривалих навантажень ці зв'язки руйнуються й нитка знову втрачає свою міцність. Встановлено, що високомолекулярна поліетиленова нитка лінійної густини 44текс починає ущільнюватись при 600 циклах, а нитка лінійної густини 44тексХ3 – вже при 250 циклах. До моменту ущільнення нитка зі збільшенням кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» втрачає свою міцність.

Для перевірки достовірності та відтворюваності одержаних результатів з визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» оцінюємо нерівномірність вимірюваних показників та точність проведених вимірювань втрати міцності ниток (Додаток Г). Для характеристики варіювання розраховуємо середньоквадратичне відхилення, яке відображає ступінь відхилення результатів від середнього значення випробувань ( $n=10$ ) та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum X^2}{(n-1)}} \quad (3.3)$$

Задавшись надійністю  $P=0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t=2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = S_{\bar{x}} \cdot t \quad (3.3)$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P=0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить у довірчому інтервалі  $\langle x \rangle$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносну похибку результату вимірювань визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

За результатами перевірки отримані середні значення величини втрати міцності високоміцних ниток (з довірчою ймовірністю  $P=95$ ) в залежності від

кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя», які наведені у таблицях 3.1–3.4.

Таблиця 3.1

Втрата міцності параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс

№ пп	Кількість циклів $N_{\text{ц}}$	Втрата міцності $B_{\text{міц}}$ , %
1	20	5,13
2	30	11,1
3	40	14,86
4	50	15,02
5	60	16,99
6	70	17,99
7	80	18,05
8	90	18,46
9	100	19,77
10	110	22,73
11	120	23,13
12	130	26,17
13	140	28,91
14	150	31,17

Таблиця 3.2

Втрата міцності параарамідної нитки лінійної густини 58,8тексХ2

№ пп	Кількість циклів $N_{\text{ц}}$	Втрата міцності $B_{\text{міц}}$ , %
1	50	7,02
2	100	13,08
3	150	18,51
4	200	21,94
5	250	23,06
6	300	27,52

На підставі отриманих даних (табл. 3.1, 3.2) побудовані графіки, наведені на рис. 3.6. Дані графіки дозволяють порівняти поведінку високоміцних параарамідних ниток в залежності від її лінійної густини, а саме 58,8текс та 58,8тексХ2.



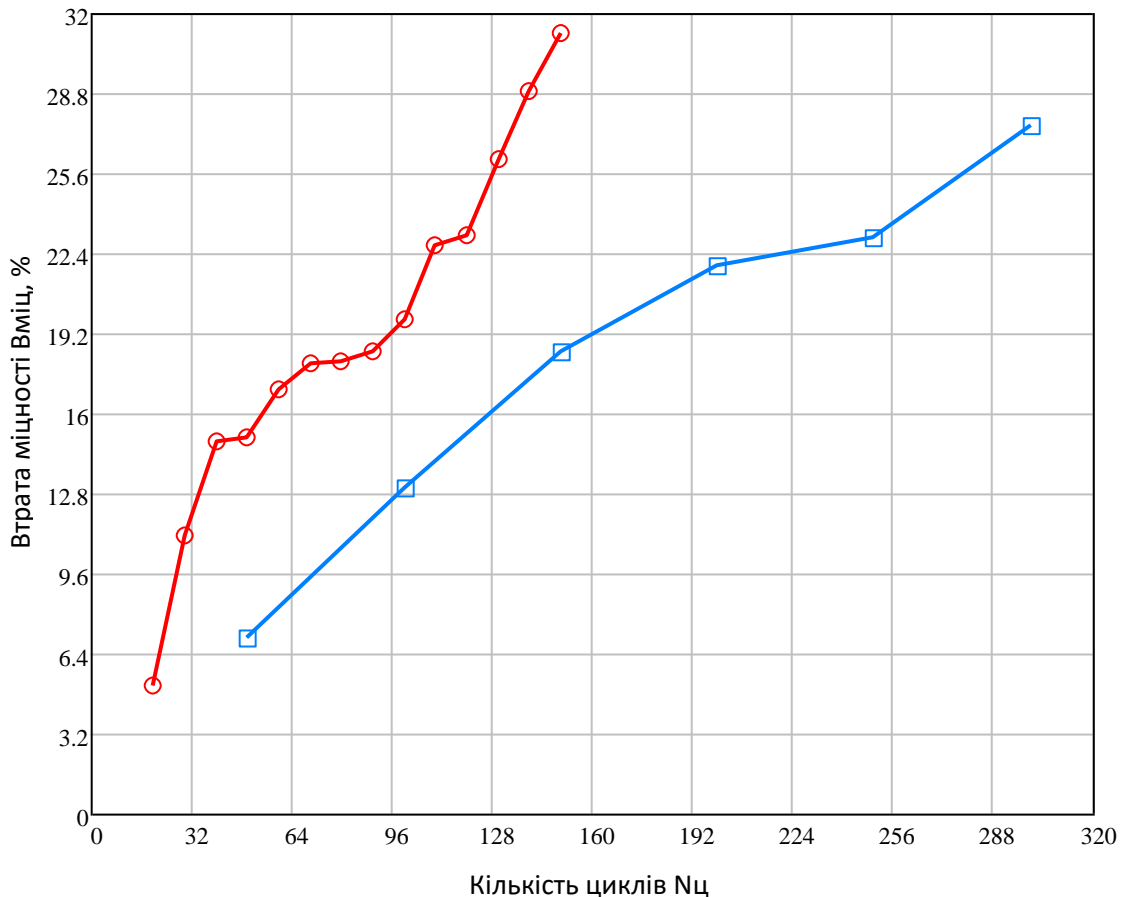


Рис. 3.6 Графіки залежності втрати міцності нитки від кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя»: ○ – параарамідна нитка лінійної густини 58,8текс, □ – параарамідна нитка лінійної густини 58,8тексХ2

Побудовані графіки дозволяють зробити висновок, що втрата міцності параарамідної нитки в залежності від кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя» носить лінійний характер. При цьому використання нитки у два складення призводить до пропорційного зниження величини втрати міцності ниток за умови однакової кількості циклів навантаження. Максимальної величини втрати міцності (31,17%) параарамідна нитка лінійної густини 58,8текс досягає при 150-ти циклічних навантаженнях, а нитка 58,8текс у два складення максимальної втрати міцності (27,52%) досягає вже при 300-х циклічних навантаженнях.

Одержані середні значення величини втрати міцності високомолекулярних поліетиленових ниток 44текс та 44тексХ3 внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» наведені у таблицях 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3

Втрата міцності високомолекулярної поліетиленової нитки 44 текс

№ пп	Кількість циклів $N_{ц}$	Втрата міцності $B_{міц}$ , %
1	50	2,26
2	100	3,57
3	150	4,76
4	200	10,38
5	250	11,75
6	300	14,29
7	350	15,43
8	400	21,84
9	450	24,03
10	500	26,98
11	550	28,86
12	600	26,18

Таблиця 3.4

Втрата міцності високомолекулярної поліетиленової нитки 44 тексХЗ

№ пп	Кількість циклів $N_{ц}$	Втрата міцності $B_{міц}$ , %
1	10	5,32
2	20	10,54
3	50	12,66
4	100	19,18
5	150	19,84
6	200	21,82
7	250	19,57
8	300	11,46
9	400	2,81
10	500	6,01
11	600	9,35
12	700	9,75
13	800	10,21
14	900	12,62
15	1000	14,22
16	1100	18,59
17	1200	22,25

На підставі одержаних експериментальних даних побудовано графіки залежності впливу кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на втрату міцності високомолекулярних поліетиленових ниток (рис. 3.7).

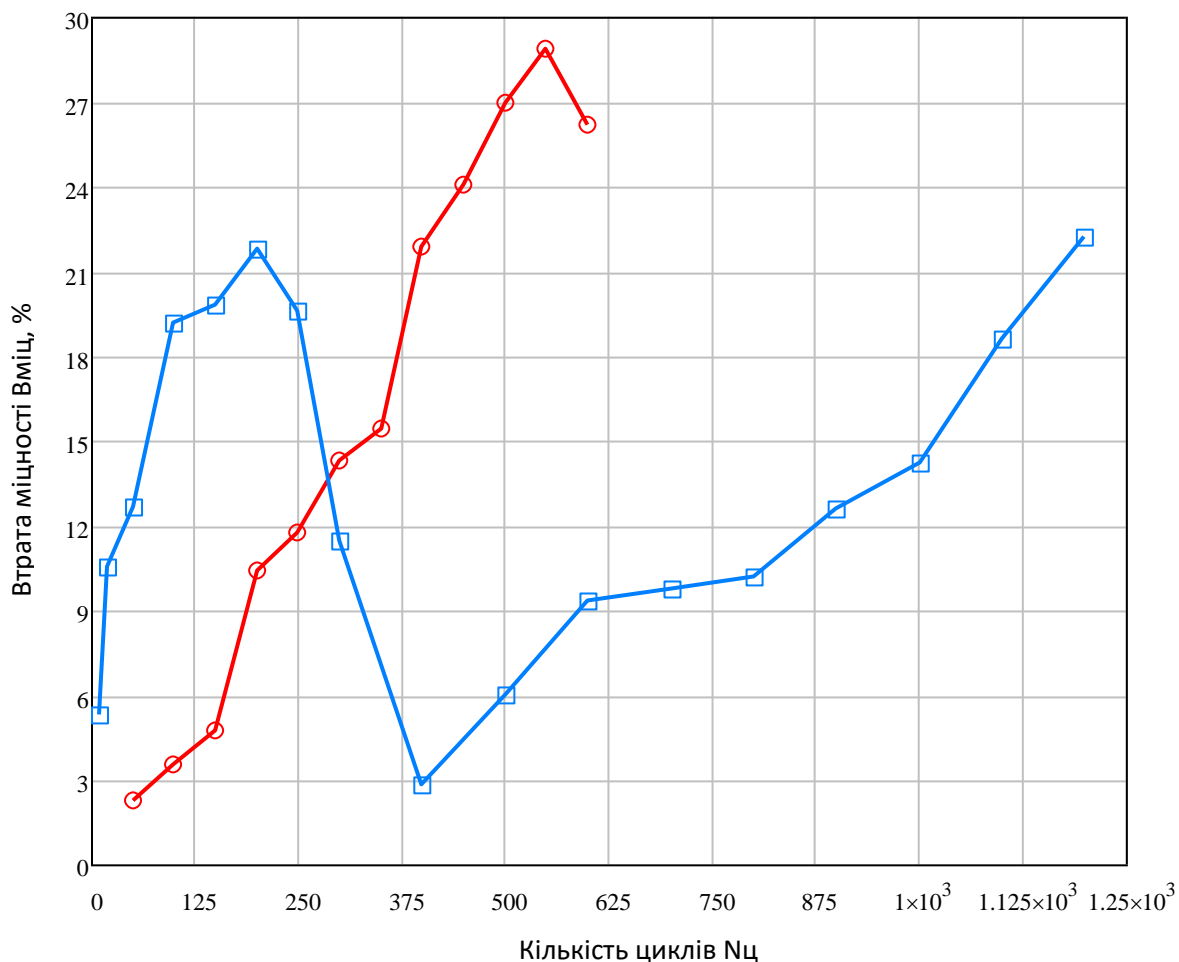


Рис. 3.7 Графіки залежності втрати міцності нитки від кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя»: ○ – високомолекулярна поліетиленова нитка 44текс, □ – високомолекулярна поліетиленова нитка 44тексХ3

На відміну від параарамідної, високомолекулярна поліетиленова нитка під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» має піки втрати та зростання міцності. Це пояснюється особливістю будови полімеру нитки. Так високомолекулярна поліетиленова нитка у процесі циклічних навантажень спочатку поступово втрачає свою міцність. Але під дією полімерних зв'язків поступово ущільнюється, внаслідок чого її міцність знову

зростає. Потім багатофіламентна нитка поступово втрачає даний зв'язок та починає знову втрачати свою міцність. Дану особливість втрати міцності високомолекулярних поліетиленових ниток слід брати до уваги при визначенні кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя», що відповідатиме умовам переробки нитки заданої лінійної густини на в'язальному обладнанні.

### **3.3 Розробка методики визначення втрати міцності ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» відповідно до умов в'язання**

Для визначення поведінки високоміцних ниток під дією циклічних навантажень реалізовано пасивний експеримент, що проведено шляхом реєстрації вхідних та вихідних параметрів об'єкта дослідження без втручання в експеримент у процесі його проведення.

На підставі проведеного пасивного експерименту за результатами впливу циклічних навантажень на міцність нитки із застосуванням математико–статистичного методу обробки даних отримані кореляційні залежності, які адекватно описують процес. У результаті кореляційно–регресійного аналізу встановлено, що коефіцієнт множинної кореляції  $R$ , який характеризує якість отриманої моделі становить 0,95, що свідчить про наявність у моделі високої кореляції.

Проведений кореляційно–регресійний аналіз одержаних показників (Додаток Д) дає змогу встановити вплив кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» на втрату міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток. Одержані кореляційні залежності, що описують вплив кількості циклічних навантажень  $x$  «розтягування–вигин–тертя» на втрату міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток мають наступний вигляд:

- для поліетиленової нитки 44 текс

$$B_{\text{міц}} = -3593,44 + 1925,8x^{0,5} - 432,4x + 53,24x^{1,5} - 3,94x^2 + 0,18x^{2,5} - 0,0049x^3 + 7,48 \cdot 10^{-5} x^{3,5} + 4,8 \cdot 10^{-7} x^4 \quad (3.5)$$

- для поліетиленової нитки 44тексХ3

$$B_{\text{міц}} = -158,3 + 125x^{0,5} - 36,77x + 5,57x^{1,5} - 0,47x^2 + 0,23 \cdot 10^{-1} x^{2,5} - 0,68 \cdot 10^{-3} x^3 + 1,03 \cdot 10^{-5} x^{3,5} - 6,62 \cdot 10^{-8} x^4 \quad (3.6)$$

- для параарамідної нитки 58,8текс

$$B_{\text{міц}} = 36,74 - 0,31x + 0,2 \cdot 10^{-2} x^2 - 527,87 \cdot x^{-1} \quad (3.7)$$

- для параарамідної нитки 58,8тексХ2

$$B_{\text{міц}} = 10,14 + 0,073x - 4,49 \cdot 10^{-5} x^2 - 338,56 \cdot x^{-1} \quad (3.8)$$

На підставі одержаних кореляційних залежностей побудовані графіки, які наведені на рис.3.8–3.11. Одержані кореляційні залежності з ймовірністю 95% дозволяють встановити кількість циклів навантаження, що відповідає заданій величині втрати міцності. За граничну величину втрати міцності нитки у процесі її переробки на в'язальному обладнанні порівняно з міцністю контрольного зразка нитки, що не піддавали жодним діям над нею, приймаємо 20%. Визначимо для кожного виду високоміцних ниток необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя», що призводить до втрати міцності ниток на величину 20%. Для високомолекулярної поліетиленової лінійної густини 44текс кількість циклічних навантажень, що спричиняє втрату міцності у 20% складає 390 циклів, для аналогічної нитки лінійної густини 44тексХ3 – 130 циклів; для параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс – 100 циклів, а для нитки 58,8тексХ2 – 180 циклів. Дані значення наведені на графіках (рис. 3.8–3.11), побудованих на підставі одержаних кореляційних залежностей.

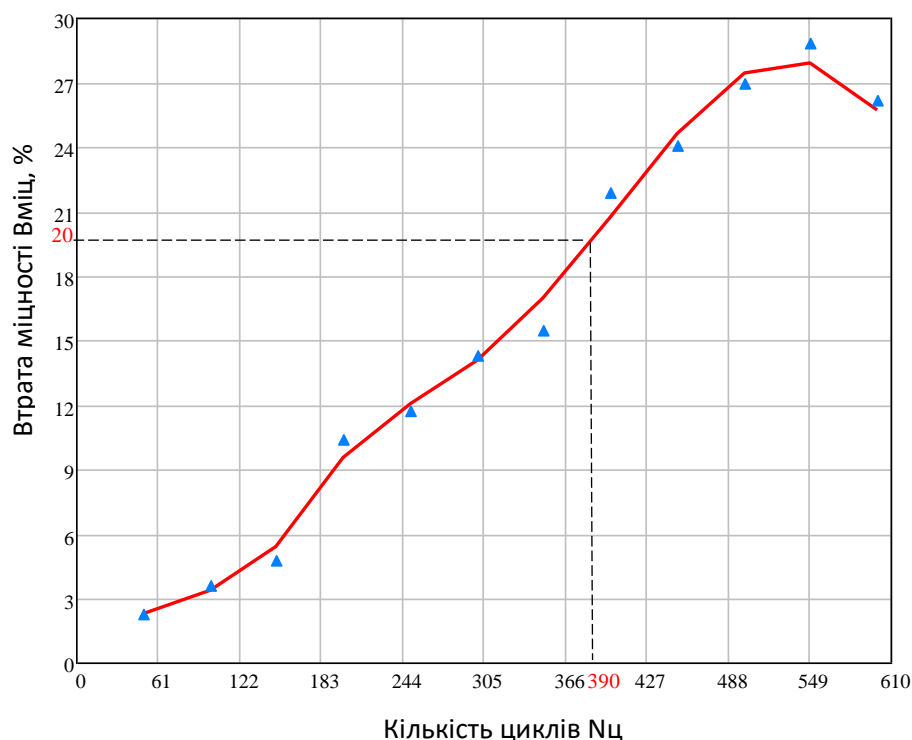


Рис. 3.8 Втрата міцності в залежності від кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на поліетиленову нитку лінійної густини 44текс, де лінія – апроксимація даних за кореляційною залежністю, ▲ – експериментальні значення

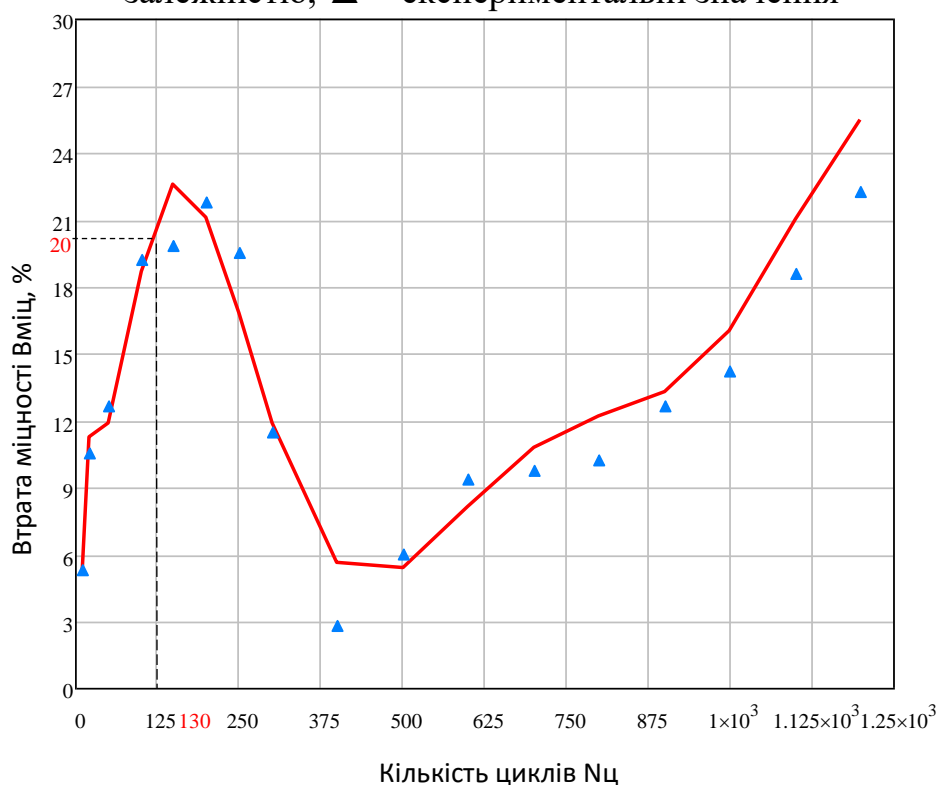


Рис. 3.9 Втрата міцності в залежності від кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на поліетиленову нитку лінійної густини 44X3текс, де лінія– апроксимація даних за кореляційною залежністю, ▲ – експериментальні значення

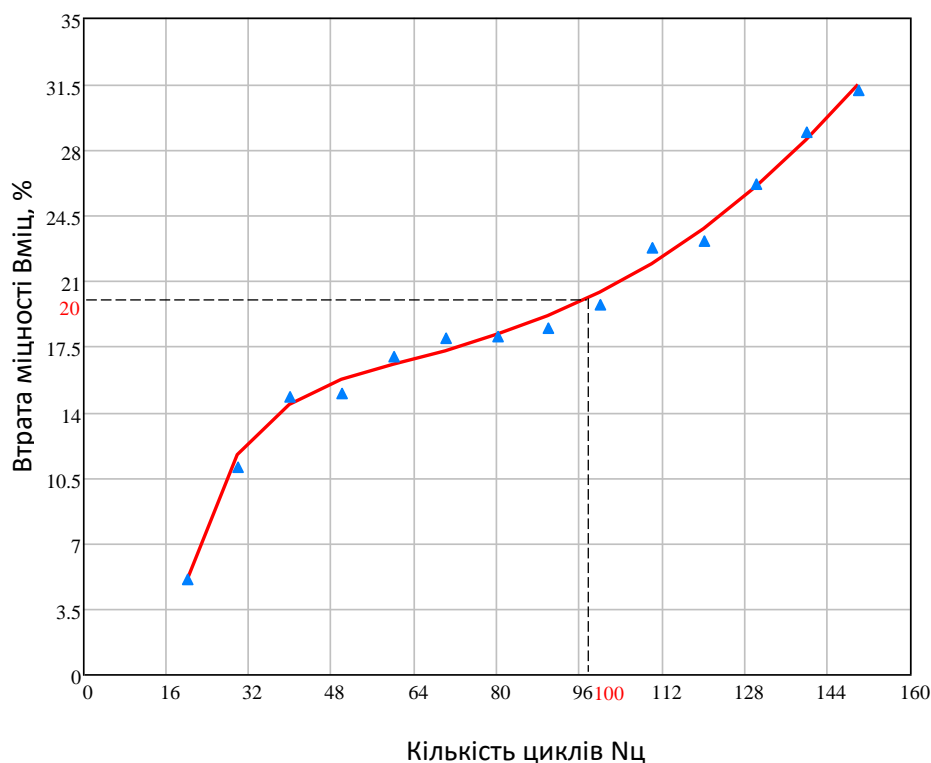


Рис.3.10 Втрата міцності в залежності від кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на параарамідну нитку лінійної густини 58,8текс, де лінія – апроксимація даних за кореляційною залежністю, ▲ – експериментальні значення

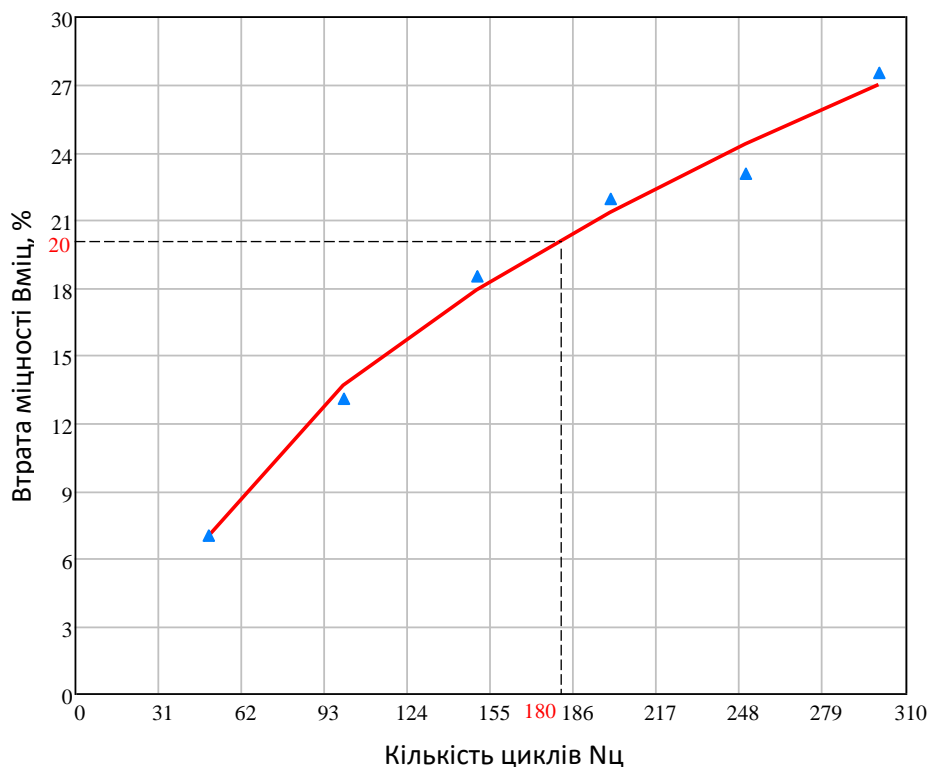


Рис.3.11 Втрата міцності в залежності від кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на параарамідну нитку лінійної густини 58,8Хтекс, де лінія – апроксимація даних за кореляційною залежністю, ▲ – експериментальні значення

Одержані значення кількості циклів навантаження для визначення граничної міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток є фактором, що залежить від їх лінійної густини. Тому для визначення опору втомі ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» пропонується встановити питомий коефіцієнт  $K_{N_u/T}$ , що визначає кількість циклічних навантажень на одиницю лінійної густини високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток. Даний питомий коефіцієнт дозволяє визначити необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для встановлення граничної міцності параарамідних та високомолекулярних ниток незалежно від їх лінійної густини.

При визначенні питомого коефіцієнта  $K_{N_u/T}$  враховано особливості втрати міцності високомолекулярних поліетиленових ниток. Як вже зазначалось раніше (п.3.2), високомолекулярні поліетиленові нитки спочатку втрачають свою міцність, а потім, при певній кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя», що залежить від її лінійної густини, ущільнюється і відновлює свої характеристики міцності. Тому для високомолекулярних поліетиленових ниток пропонується використовувати перший пік втрати її міцності до моменту ущільнення структури і відновлення міцності. Визначено питомий коефіцієнт  $K_{N_u/T}$  для трьох діапазонів лінійної густини високомолекулярних поліетиленових ниток:  $T \leq 44$ текс;  $T \leq 88$ текс;  $T \leq 132$ текс.

Параарамідна нитка втрачає свою міцність лінійно незалежно від її лінійної густини. Тому питомий коефіцієнт  $K_{N_u/T}$  не є фактором лінійної густини. Встановлені значення питомого коефіцієнта  $K_{N_u/T}$  для визначення кількості циклічних навантажень у відповідності до лінійної густини високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток наведені у таблиці 3.5.



Таблиця 3.5

Значення питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$  для визначення кількості циклічних навантажень у відповідності до лінійної густини нитки

Вид сировини	Втрата міцності $V_{міц}$ , %	Питомий коефіцієнт $K_{Nu/T}$ , кількість циклічних навантажень на одиницю лінійної густини нитки
Параарамідна нитка	20%	1,6
Поліетиленова нитка $T \leq 44$ текс		8,86
Поліетиленова нитка $T \leq 88$ текс		4,92
Поліетиленова нитка $T \leq 132$ текс		0,98

Встановлені значення питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$  дозволяють визначити кількість циклів навантаження на нитку у відповідності до обраної її лінійної густини. Наприклад, необхідно встановити опір втомі параарамідної нитки лінійної густини 100 текс та перевірити чи не перевищує втрата її міцності при заданій кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» встановленого граничного значення, що складає 20%. У відповідності до питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$  для параарамідної нитки кількість циклів навантаження становитиме 160 циклів. У результаті визначення опору втомі при даній кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» втрата міцності параарамідної нитки склала 19%, що не перевищує встановленої величини граничної міцності 20% при переробці її на в'язальному обладнанні. Таким чином, можна зробити висновок, що опір втомі параарамідної нитки обраної лінійної густини у процесі в'язання не перевищить граничного значення.

На підставі одержаних кореляційних залежностей встановлено кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя», що відповідає втраті міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток у відповідності до параметрів в'язання, зазначених умовами проведення повного трифакторного експерименту, реалізованого у розділі 2 (табл. 3.6 – 3.9).

Таблиця 3.6

Кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для параарамідної нитки, переробленої у структуру кулірного трикотажу переплетення гладь відповідно до трифакторного експерименту

U	Фактори				Середні значення втрати міцності в умовах трифакторного експерименту, %	Кількість циклів навантаження
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub> T, Текс	X <sub>2</sub> h, мм	X <sub>3</sub> Q, сН	$\bar{Y}_u$ , кгс	N <sub>ц</sub>
1	+	–	–	–	18,86	90
2	+	+	–	–	12,667	95
3	+	–	+	–	10,488	29
4	+	+	+	–	4,533	30
5	+	–	–	+	25,56	125
6	+	+	–	+	20,12	185
7	+	–	+	+	20,598	100
8	+	+	+	+	11,3	85

Таблиця 3.7

Кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для параарамідної нитки, переробленої у структуру кулірного трикотажу переплетення ластик відповідно до трифакторного експерименту

U	Фактори				Середні значення втрати міцності в умовах трифакторного експерименту	Кількість циклів навантаження
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub> T, Текс	X <sub>2</sub> h, мм	X <sub>3</sub> Q, сН	$\bar{Y}_u$ , кгс	N <sub>ц</sub>
1	+	–	–	–	21,55	105
2	+	+	–	–	15,58	120
3	+	–	+	–	18,76	90
4	+	+	+	–	9	65
5	+	–	–	+	26,42	130
6	+	+	–	+	19	160
7	+	–	+	+	25,62	127
8	+	+	+	+	14,96	115

Таблиця 3.8

Кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для поліетиленової нитки, переробленої у структуру кулірного трикотажу переплетення гладь відповідно до трифакторного експерименту

U	Фактори				Середні значення втрати міцності в умовах трифакторного експерименту	Кількість циклів навантаження
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub> T, Текс	X <sub>2</sub> h, мм	X <sub>3</sub> Q, сН		
1	+	–	–	–	16,58	360
2	+	+	–	–	15,07	80
3	+	–	+	–	13,08	275
4	+	+	+	–	11,56	35
5	+	–	–	+	28,87	550
6	+	+	–	+	23,17	200
7	+	–	+	+	22,62	415
8	+	+	+	+	14,87	77

Таблиця 3.9

Кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для поліетиленової нитки, переробленої у структуру кулірного трикотажу переплетення ластик відповідно до трифакторного експерименту

U	Фактори				Середні значення втрати міцності в умовах трифакторного експерименту	Кількість циклів навантаження
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub> T, Текс	X <sub>2</sub> h, мм	X <sub>3</sub> Q, сН		
1	+	–	–	–	7,11	175
2	+	+	–	–	6,27	12
3	+	–	+	–	4,64	140
4	+	+	+	–	6,9	13
5	+	–	–	+	22,75	415
6	+	+	–	+	23,12	200
7	+	–	+	+	8,50	185
8	+	+	+	+	1,02	2

Таким чином, на підставі одержаних значень кількості циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» можна прогнозувати втрату міцності ниток у відповідності до заданих параметрів в'язання ще на етапі його проєктування. Так, наприклад, з використанням комп'ютерної програми у режимі прогнозування визначено параметри в'язання, що забезпечують виготовлення трикотажу з високоміцних ниток з прогнозованими параметрами структури та рівнем втрати міцності. На підставі одержаних кореляційних залежностей (3.5) – (3.8) визначаємо необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для визначення опору втомі. У разі якщо втрата міцності нитки перевищує вказаний показник, розрахований у відповідності до заданих параметрів в'язання, необхідно прийняти рішення щодо вибору нитки з вищими характеристиками міцності або змінити умови її переробки на в'язальному обладнанні.

Придатність розробленої методики з визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» за умови встановленої величини попереднього навантаження на нитку у 5% та питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$ , що вказує на кількість циклічних навантажень на нитку на одиницю її лінійної густини та залежить від виду високоміцних ниток, оцінено за показниками невизначеності, відтворюваності та збіжності (повторюваності) результатів вимірювань з метою підтвердження її цільового використання.

Невизначеність вимірювання – це параметр, що пов'язаний з результатами вимірювання і характеризує розсіяння значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірювальній величині. Стандартна невизначеність – невизначеність результату вимірювання, що виражається у вигляді середнього квадратичного відхилення. Розширена невизначеність – величина, яка визначає інтервал навколо результату вимірювань, в межах якого, як можливо очікувати, знаходиться більша частина розподілу значень, які в достатній мірі могли бути приписані вимірюваній величині.

Розрахунок стандартної невизначеності та межі розширеної невизначеності для рівня довіри  $q=0,95$  за нормального закону розподілу

ймовірностей (коефіцієнт охоплення  $K=2$ ) для досліджуваних зразків параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс й 58,8тексХ2 та високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини 44текс й 44тексХ3 при заданій кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя» наведений у таблицях 3.10 – 3.13.

Таблиця 3.10

Результати підтвердження цільового використання розробленої методики з визначення опору втомі високоміцних параарамідних ниток лінійної густини 58,8 текс під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»,

$$N_{\tau}=100$$

Первинні результати вимірювань:										
№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
значення Вміц, %	20,2	19,7	20,4	20,2	19,2	19,2	19,9	20,4	19,3	19,2
розрахунок	формула обрахунку						отримані значення		критерій за НД	
середнє арифметичне значення серії вимірювань	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$						19,77			
стандартна невизначеність	$U_{cm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$						0,51			
межа розширеної невизначеності	$U = K \cdot U_{cm}$ для рівня довіри $p=0,95$ коефіцієнт охоплення $K=2$						1,02			
висновок	невизначеність показника знаходиться в прийнятих межах (18,75 – 20,79) %									так

Таблиця 3.11

Результати підтвердження цільового використання розробленої методики з визначення опору втомі високоміцних параарамідних ниток лінійної густини 58,8тексХ2 під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»,

$$N_{\tau}=200$$

Первинні результати вимірювань:										
№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
значення Вміц, %	21,7	21,94	21,8	21,56	21,9	22,43	21,89	21,95	22	22,22
розрахунок	формула обрахунку						отримані значення		критерій за НД	

## Продовження таблиці 3.11

середнє арифметичне значення серії вимірювань	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	21,94	
стандартна невизначеність	$U_{cm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$	0,247	
межа розширеної невизначеності	$U = K \cdot U_{cm}$ для рівня довіри $p=0,95$ коефіцієнт охоплення $K=2$	0,5	
висновок	невизначеність показника знаходиться в прийнятих межах (21,44 – 22,44) %		так

Таблиця 3.12

Результати підтвердження цільового використання розробленої методики з визначення опору втомі високоміцних поліетиленових ниток лінійної густини 44 текс під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»,  $N_t=400$

Первинні результати вимірювань:										
№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
значення Вміц, %	20,9	20,9	21,9	21,8	22,6	22,6	21,95	21,6	21,5	22,7
розрахунок			формула обрахунку				отримані значення		критерій за НД	
середнє арифметичне значення серії вимірювань			$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$				21,84			
стандартна невизначеність			$U_{cm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$				0,65			
межа розширеної невизначеності			$U = K \cdot U_{cm}$ для рівня довіри $p=0,95$ коефіцієнт охоплення $K=2$				1,3			
висновок			невизначеність показника знаходиться в прийнятих межах (20,54 – 22,87) %						так	

Таблиця 3.13

Результати підтвердження цільового використання розробленої методики з визначення опору втомі високоміцних поліетиленових ниток лінійної густини 44Х3 текс під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»,  $N_{ц} = 200$

Первинні результати вимірювань:										
№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
значення <i>Вміц, %</i>	21,3	19,7	20,3	21,2	20,5	21,1	19,9	20,3	19,6	21,1
розрахунок			формула обрахунку				отримані значення		критерій за НД	
середнє арифметичне значення серії вимірювань			$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$				21,82			
стандартна невизначеність			$U_{cm} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$				0,58			
межа розширеної невизначеності			$U = K \cdot U_{cm}$ для рівня довіри $p=0,95$ коефіцієнт охоплення $K=2$				1,16			
висновок			невизначеність показника знаходиться в прийнятих межах (20,66 – 22,98) %						так	

Таким чином, запропонована нами методика з визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» пройшла валідацію за показниками невизначеності, відтворюваності та збіжності (повторюваності) результатів вимірювань і може бути рекомендована для подальшого цільового використання.

### Висновки до розділу 3

1. Шляхом експериментальних досліджень встановлено величину попереднього навантаження на параарамідну та поліетиленову нитки під час визначення опору втомі під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя», яке повинно становити 5% від попередньо оціненої граничної міцності контрольних зразків нитки і складає 600г (10,2г/текс) на одиночну

параарамідну нитку лінійної густини 58,8текс, 1100г (9,35г/текс) – на параарамідну нитку 58текс у два складення; на одиночну поліетиленову нитку лінійної густини 44текс – 500г (11,36г/текс) та 1000г (7,58г/текс) – на поліетиленову нитку 44текс у три складення.

2. Визначено поведінку високоміцних поліетиленових та параарамідних ниток та встановлено, що під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» характер руйнування високоміцних ниток відрізняється. Параараарамідна нитка руйнується лінійно до кількості циклів навантажень, а високомолекулярна поліетиленова нитка під дією циклічних навантажень змінює поведінку руйнування в залежності від її лінійної густини. Нитка з надвисокомолекулярного поліетилену під дією циклічних навантажень вирівнюється на затискачах в поліетиленове «полотно», яке ущільнюється у процесі ковзання на роликах. Таким чином, чим більша лінійна густина поліетиленової нитки, тим більша площа ущільненого «полотна», тим менший ступінь руйнування. Можна стверджувати, що нитка з надвисокомолекулярного поліетилену спочатку, до вирівнювання, втрачає свою міцність, а потім, під дією полімерних зав'язків, ущільнюється та відновлює свою міцність. У процесі довготривалих навантажень встановлені зв'язки поступово руйнуються й нитка знову втрачає свою міцність.

3. За результатами дослідження впливу кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на втрату міцності нитки із застосуванням математико–статистичного методу обробки даних отримані кореляційні залежності, які адекватно описують зазначений процес. Одержані кореляційні залежності дозволяють встановити необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» у відповідності до заданого значення втрати міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток.

4. За граничну величину втрати міцності нитки у процесі її переробки на в'язальному обладнанні прийнято 20%. Для кожного виду високоміцних ниток визначено кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя», що



призводить до втрати міцності ниток на величину 20%. Для високомолекулярної поліетиленової лінійної густини 44текс кількість циклічних навантажень, що спричиняє втрату міцності у 20% складає 390 циклів, для аналогічної нитки лінійної густини 44тексХ3 – 130 циклів; для параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс – 100 циклів, а для нитки 58,8тексХ2 – 180 циклів.

5. Одержані значення кількості циклів навантаження для визначення граничної міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток є фактором, що залежить від їх лінійної густини. Тому для визначення опору втомі ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» визначено питомий коефіцієнт  $K_{Nu/T}$ , що визначає кількість циклічних навантажень на одиницю лінійної густини високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток. Даний питомий коефіцієнт дозволяє визначити необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для встановлення граничної міцності параарамідних та високомолекулярних ниток незалежно від їх лінійної густини. При визначенні питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$  враховано особливості втрати міцності високомолекулярних поліетиленових ниток. Встановлено значення питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$  для визначення кількості циклічних навантажень у відповідності до лінійної густини ниток, що складають: 8,86 для високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини  $\leq 44$ текс; 4,92 для аналогічної нитки лінійної густини  $\leq 88$ текс; 0,98 для поліетиленової нитки  $\leq 132$  текс; 1,6 для параарамідної нитки. Одержані значення питомого коефіцієнта  $K_{Nu/T}$  дозволяють визначити необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» на нитку у відповідності до обраної її лінійної густини.

6. Запропонована методика з визначення опору втомі високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» пройшла валідацію за показниками невизначеності, відтворюваності та збіжності (повторюваності) результатів вимірювань і може бути рекомендована для подальшого цільового використання. Розрахунок стандартної невизначеності

та межі розширеної невизначеності для рівня довіри  $q=0,95$  за нормального закону розподілу ймовірностей (коефіцієнт охоплення  $K=2$ ) для досліджуваних зразків параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс й 58,8тексХ2 та високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини 44текс й 44тексХ3 при заданій кількості циклів навантажень «розтягування–вигин–тертя».

### Список використаних джерел до розділу 3

1. ДСТУ ISO 2062:2004 Матеріали текстильні. Пряжа з паковань. Визначання розривального навантаження та видовження під час розривання (ISO 2062:1995, IDT). [Чинний від 01–01–2006]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 8 с.
2. ДСТУ 7372:2013 Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання у дренажних системах (EN 13252:2000, MOD). [Чинний від 01–01–2014]. К.: Держспоживстандарт України, 2013. 34 с.
3. ДСТУ ISO 139:2007 Матеріали текстильні. Стандартні атмосферні умови для кондиціювання та випробування (ISO 139:2005, IDT). [На заміну ДСТУ ISO 139:2005; чинний від 01–01–2009]. К.: Держспоживстандарт України, 2011. 8 с.

## РОЗДІЛ 4

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КУЛІРНОГО ТРИКОТАЖУ В СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

#### 4.1 Особливості використання систем комп'ютерного моделювання у прогнозуванні властивостей трикотажу у деформованому стані

З розвитком систем автоматизованого проектування та математичного забезпечення САПР трикотажу набуває актуальності необхідність у розробці методики прогнозування властивостей трикотажу з використанням комп'ютерних засобів. Така робота є відносно новою сферою наукової діяльності і має проводитись паралельно з розробкою та вдосконаленням окремих засобів та інструментів комп'ютерного моделювання.

Під методикою розуміють сукупність методів та прийомів практичної діяльності, що передбачено призводить до отримання необхідного результату. Прогнозування властивостей трикотажу з використанням універсальних програмно-аналітичних комплексів повинно включати такі структурні частини:

- опис функціонального призначення трикотажу та встановлення вимог відповідності;
- встановлення необхідного рівня деталізації моделі в контексті поставленої задачі та кількості етапів моделювання;
- формування набору вихідних даних та опис послідовності використання засобів моделювання та алгоритму розрахунку;
- формування критеріїв відповідності отриманих результатів моделювання;
- формування переліку рекомендованих програмних засобів для проведення віртуальних експериментів з обґрунтуванням можливих обмежень;
- формування переліку рекомендованого програмного забезпечення для побудови тривимірної геометричної моделі структури трикотажу;
- аналіз наявних баз даних властивостей сировини;

- встановлення необхідності проведення додаткових експериментів з метою:
  - верифікації моделі;
  - формування банку даних для моделювання;
- аналіз вимог до точності прогнозування;
- аналіз можливостей прийняття необхідних для розрахунку припущень та обмежень використання розроблених моделей.

До трикотажу, виробленого з високоміцних ниток, висувається ряд вимог, а саме:

- мати необхідні характеристики міцності;
- мати щільну структуру для забезпечення необхідного рівня захисту від дії механічних ушкоджень;
- мати невелику поверхневу густину;
- мати необхідні гігієнічні властивості.

Вивчення структури задач прогнозування властивостей трикотажу з використанням систем комп'ютерного моделювання дозволяє прийняти гіпотезу про можливість застосування дворівневого проектування, коли на першому етапі використовують модель мезорівня (з деталізацією на рівні ниток), а на другому етапі – модель макрорівня з використанням даних попереднього етапу.

У ході дослідження встановлено, що для трикотажу, який знаходиться в умовно–рівноважному стані або в межах незначних деформацій, для побудови тривимірних моделей мезорівня може бути обрана модель, описана у роботах [1] та програмне забезпечення Структура 3D [2]. Однак для побудови моделей структури трикотажу у максимально розтягнутому стані деякі припущення, враховані у цій моделі, не можуть бути прийняті. Тому виникла необхідність доповнити алгоритм програми окремою гілкою для розрахунку конфігурації нитки у структурі трикотажу при максимальному одноосному розтягненні.

## 4.2 Конфігурація осьової лінії нитки петлі трикотажу при одновісному розтягненні

У процесі одновісних навантажень в структурі трикотажу, виробленого з високоміцних ниток, спочатку відбувається перерозподіл нитки до досягнення максимально напруженого стану. Для моделювання трикотажу переплетення гладь та ластик 1+1 в максимально напруженому стані доцільно використовувати у якості вихідних даних такі значення як: довжина нитки в петлі  $\ell$ , петельний крок  $A$ , висота петельного ряду  $B$ , товщина трикотажу  $M$ , умовний діаметр нитки  $D_u$  та розрахунковий діаметр  $D_p$ . Причому для моделі трикотажу, максимально розтягнутого вздовж петельного ряду,  $A=A_{max}$ ,  $B=B_{min}$ , а для моделі трикотажу, розтягнутого вздовж петельного стовпчика,  $B=B_{max}$ ,  $A=A_{min}$  (рис. 4.1). Ці дані можуть бути отримані експериментально або розраховані за відомими методиками [3–6 та ін.].

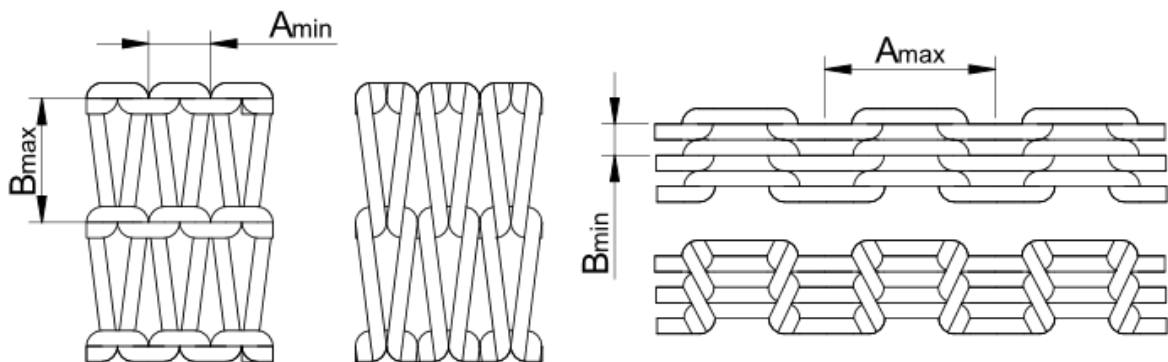


Рис. 4.1 Структура трикотажу переплетення гладь при максимальному розтязі вздовж петельних стовпчиків та петельних рядів

Як зазначено у роботі [1], при моделюванні у тривимірному середовищі, просторова лінія, що представляє у моделі осьову лінію нитки, повинна проходити через характерні точки петлі, які лежать безпосередньо на центральній лінії пражі та розташовані так, щоб у тривимірному просторі їхнє положення можна було визначити використовуючи традиційні уявлення про форму петлі.

На рис. 4.2 наведено схематичне зображення максимально розтягнутої вздовж петельного стовпчика петлі трикотажу переплетення гладь у проєкції на площину полотна та у проєкції на площину, яка проходить по центральній лінії петельного стовпчика та перпендикулярна площині полотна. Таке ж саме зображення для петлі гладі, розтягнутої вздовж петельного ряду наведено на рис. 4.3. Для опису конфігурації нитки на рис. 4.2 та 4.3 позначено такі характерні точки: К – точка вершини голкової дуги, В – точка переплетення нитки, А та С – точки контакту ниток, Т – середня точка петельної палички. Візуальний аналіз структури трикотажу переплетення гладь при максимальному одновісному розтягненні показав, що як при розтягненні у напрямку петельних стовпчиків, так і при розтягненні у напрямку петельних рядів у точках переплетення нитки суміжних петель максимально щільно переплетені та можна прийняти припущення, що дотична до осьової лінії нитки у точці переплетення В розташовується під кутом  $\gamma = 45^\circ$  до лінії, паралельній вісі ОУ.

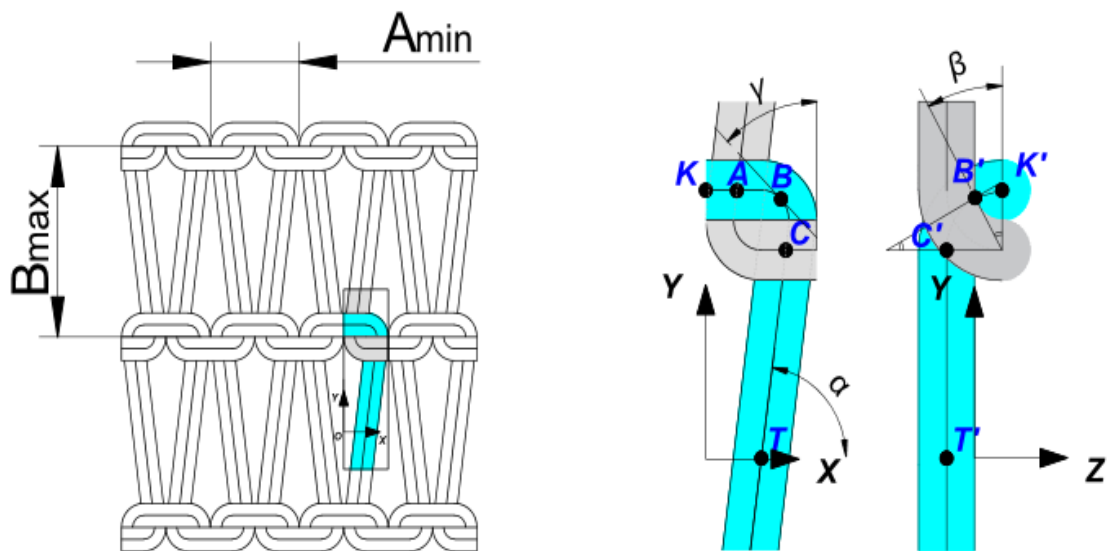


Рис. 4.2 Розташування характерних точок осьової лінії нитки петлі, максимально розтягнутої вздовж петельного стовпчика

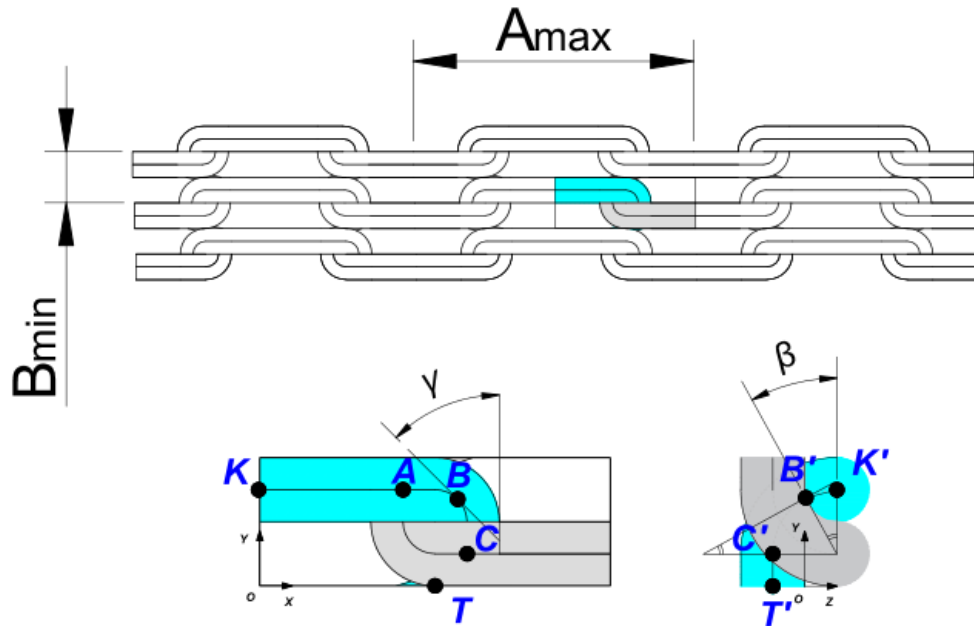


Рис. 4.3 Розташування характерних точок осьової лінії нитки петлі, максимально розтягнутої вздовж петельного ряду

Для побудови осьової лінії нитки, пров'язаної в петлю в системах 3D моделювання необхідно задати математичний опис розрахунку координат характерних точок петлі та напрямки дотичних у цих точках. У проєкції на площину полотна дотична до осьової лінії нитки у точці К розташована паралельно вісі ОХ. Дотична у точці В, позначена як  $\gamma = 45^0$  (згідно прийнятого вище припущення).

Кут нахилу палички остову петлі  $\alpha$  може бути розраховано за формулою:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{B/2}{(A - Dy)/2}\right) \quad (4.1)$$

У системі координат, розташованій так як показано на рис. 4.2, координати точок К ( $X_k, Y_k, Z_k$ ), А ( $X_a, Y_a, Z_a$ ), В ( $X_b, Y_b, Z_b$ ), С ( $X_c, Y_c, Z_c$ ), Т ( $X_t, Y_t, Z_t$ ) можуть бути розраховані наступним чином. Спочатку необхідно визначити координати точок К, В, та Т, розташування яких відносно системи координат окремої петлі впливає з прийнятих припущень про симетричну форму петлі та відомі характеристики структури А, В,  $D_y$ , t.

$$X_k = 0 \quad Y_k = \frac{B + D_y}{2} \quad Z_k = \frac{D_y}{2} \quad (4.2)$$

$$X_a = \frac{A}{4} - \frac{D_y}{2}(1 + \cos \alpha) \quad Y_a = \frac{B + D_y}{2} \quad Z_a = \frac{D_y}{2} \quad (4.3)$$

В зоні переплетення ниток взаємне розташування їх центральних ліній залежить тільки від діаметра нитки  $d_y$ , тоді:

$$X_b = \frac{A}{4} + \frac{D_y}{2} \cos \gamma \quad Y_b = \frac{B}{4} + \frac{D_y}{2} \sin \gamma \quad Z_b = 0 \quad (4.4)$$

$$X_c = \frac{A}{4} + \frac{D_y}{2}(1 - \cos \alpha) \quad Y_c = \frac{B - D_y}{2} \quad Z_c = -\frac{D_y}{2} \quad (4.5)$$

$$X_t = \frac{A}{4} \quad Y_t = 0 \quad Z_t = -\frac{D_y}{2} \quad (4.6)$$

Напрямок дотичних до точок  $K'$ ,  $B'$  та  $T'$  у проєкції на площину  $YOZ$  можна визначити наступним чином: проєкція дотичної у точці  $K'$  вироджена у точку, проєкція дотичної до осьової лінії нитки у точці  $B'$  розташована під кутом  $\beta$  до напрямку осі  $OX$ , та його легко визначити по теоремі косинусів, адже всі сторони трикутника  $K'B'Q$  нам відомі, а проєкція дотичної у точці  $T'$  проходить паралельно вісі  $OY$ .

Даний алгоритм розрахунку дозволяє визначити координати характерних точок петлі та напрямки дотичних у цих точках. Це забезпечує можливість побудувати моделі структури трикотажу у системах тривимірного моделювання. Одержані формули закладено у окремий модуль програми Структура 3D, призначений для моделювання трикотажу головних кулірних переплетень при максимальному одновісному розтязі.

### **4.3 Верифікація мезомоделей трикотажу переплетень ластик 1+1 та гладь у максимально напруженому стані**

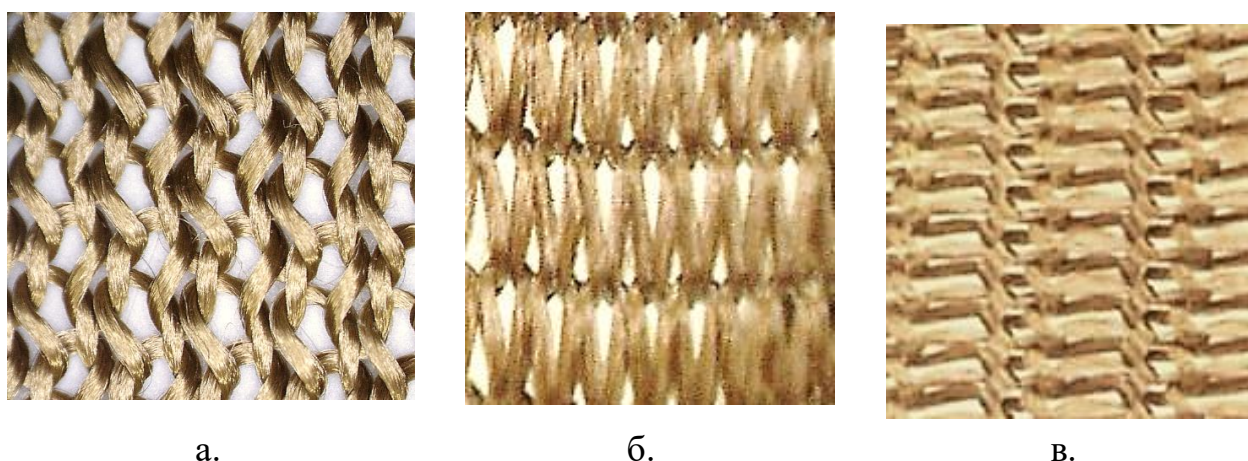
Для розробки тривимірних моделей трикотажу, виробленого з високоміцних ниток, та перевірки їх адекватності, на плосков'язальному



обладнанні з параарамідних і поліетиленових ниток вироблено зразки кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик. Визначено параметри петельної структури зразків в умовно–рівноважному стані та при максимальному одновісному розтягненні вздовж лінії петельного стовпчика та ряду. Розтяг випробуваних зразків виконувався на машині KaoTieh КТ–7010AZ, максимально напружений стан зразків зафіксовано за допомогою мікроскопу Micro Capture Pro для подальшого визначення особливостей параметрів структури трикотажу.

Показники, такі як товщина, поверхнева густина трикотажу та довжина нитки в петлі визначені експериментально для зразків в умовно рівноважному стані за стандартною методикою. Параметри петлі такі як кути нахилу паличок та остова, умовний діаметр нитки встановлено з використанням мікроскопа. Визначені параметри структури трикотажу внесені у таблицю 4.1.

Для визначення параметрів структури кулірного трикотажу в максимально напруженому стані фіксувалась затискна довжина трикотажу (50 мм) та довжина вже видовженого полотна для встановлення видовження петлі по довжині або ширині. Трикотаж з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток у вільному та максимально напруженому стані представлено на рисунках 4.4–4.7.

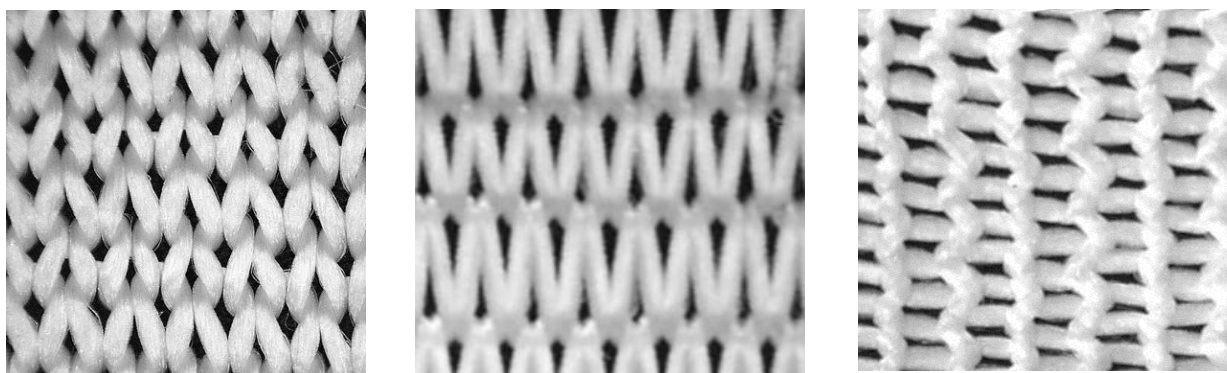


а.

б.

в.

Рис. 4.4 Зразок трикотажу переплетення гладь з параарамідної нитки під мікроскопом: а. рівноважний стан; б. розтягнений вздовж петельних стовпчиків; в. розтягнений вздовж петельних рядів

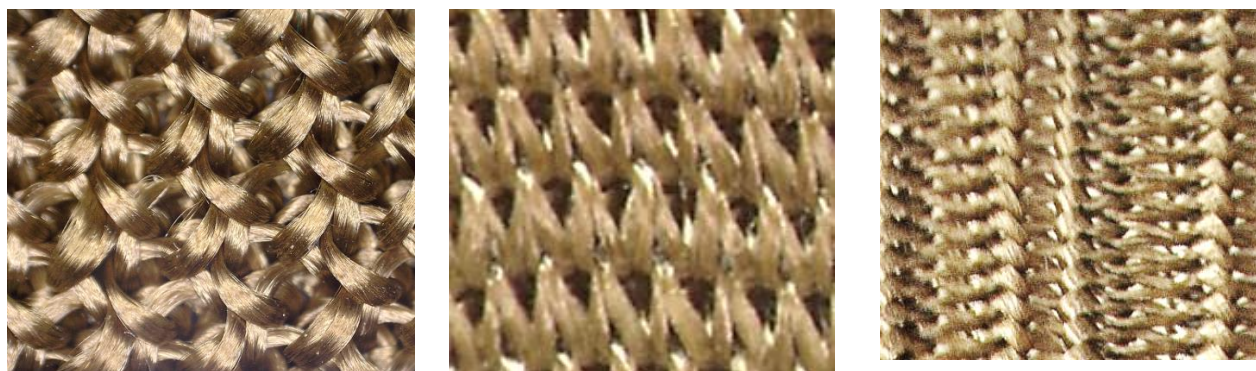


а.

б.

в.

Рис. 4.5 Зразок трикотажу переплетення гладь з поліетиленові нитки під мікроскопом: а. рівноважний стан; б. розтягнений вздовж петельних стовпчиків; в. розтягнений вздовж петельних рядів

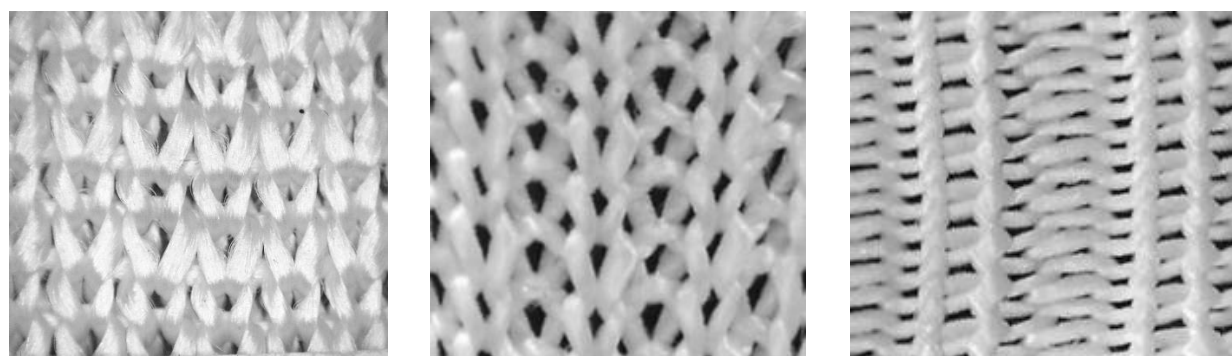


а.

б.

в.

Рис. 4.6 Зразок трикотажу переплетення ластик з параарамідної нитки під мікроскопом: а. рівноважний стан; б. розтягнений вздовж петельних стовпчиків; в. розтягнений вздовж петельних рядів



а.

б.

в.

Рис. 4.7 Зразок трикотажу переплетення ластик з поліетиленові нитки під мікроскопом: а. рівноважний стан; б. розтягнений вздовж петельних стовпчиків; в. розтягнений вздовж петельних рядів

Слід відзначити, що петлі трикотажу з поліетиленові нитки майже рівномірної структури, окрім того, що один петельний ряд незначно менше іншого. Це пов'язано з особливостями переробки нитки у трикотажне полотно на плосков'язальному обладнанні типу ПВРК зі зворотно–поступальним рухом каретки, що може призвести до різної глибини кулірування у суміжних рядах. На відміну від поліетиленових, петлі парарамідного полотна у рівноважному стані нахилені зигзагоподібно, тобто один ряд петель нахилено вправо, а інший – вліво. Це знову таки пов'язано з особливістю переробки ниток в полотно на плоскофанговій машині, а точніше напрямку руху каретки та проявом пружних властивостей параарамідних ниток. При моделюванні прототипів трикотажних полотен слід враховувати особливості вищевказаних ниток, щоб для подальшого моделювання якісних властивостей полотен відхилення показників було мінімальне.

Параметри структури трикотажу зразка з мінімальною глибиною кулірування, який за своєю структурою найбільше підходить для захисту від дії механічних ушкоджень наведені у таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Параметри структури трикотажу переплетення гладь та ластик  
в умовно–рівноважному та розтягнутому стані

Сировина та вид переплетення	Стан розтягу	Довжина нитки в петлі $\ell$ , мм	Петельний крок $A$ , мм	Висота петельного ряду $B$ , мм	Умовний діаметр нитки, $D_y$ , мм	Розрахунковий діаметр нитки $D_p$ , мм	Товщина трикотажу $M$ , мм
параарамідна нитка, гладь	без розтягу	7,74	2	1,67	0,32	0,6	1,14
	розтяг вздовж петельних стовпчиків, 146 %		1,28	2,43			0,75
	розтяг вздовж петельних рядів, 160 %		3,2	1			0,82

Продовження таблиці 4.1

високомолекулярна поліетиленова нитка, гладь	без розтягу	7,95	1,92	1,85	0,28	0,67	0,93
	розтяг вздовж петельних стовпчиків, 150 %		1,58	2,78			0,68
	розтяг вздовж петельних рядів, 180 %		3,46	0,85			0,75
параарамідна нитка, ластик	без розтягу	6,13	2,38	1,25	0,32	0,6	2,19
	розтяг вздовж петельних стовпчиків, 216 %		1,9	2,7			1,4
	розтяг вздовж петельних рядів 250 %		2,98	0,75			1,8
високомолекулярна поліетиленова нитка, ластик	Без розтягу	6,42	2	1,51	0,28	0,67	1,81
	розтяг вздовж петельних стовпчиків, 164 %		1,92	2,48			1,3
	розтяг вздовж петельних рядів 246 %		2,46	0,97			1,5

Виходячи з отриманих результатів, описаних у пунктах 4.2–4.3 та у тривимірному середовищі AutoCAD за допомогою програмного забезпечення Структура 3D побудовано твердотільні тривимірні моделі виготовлених зразків за даними таблиці 4.1, що представлені на рисунках 4.8–4.11.



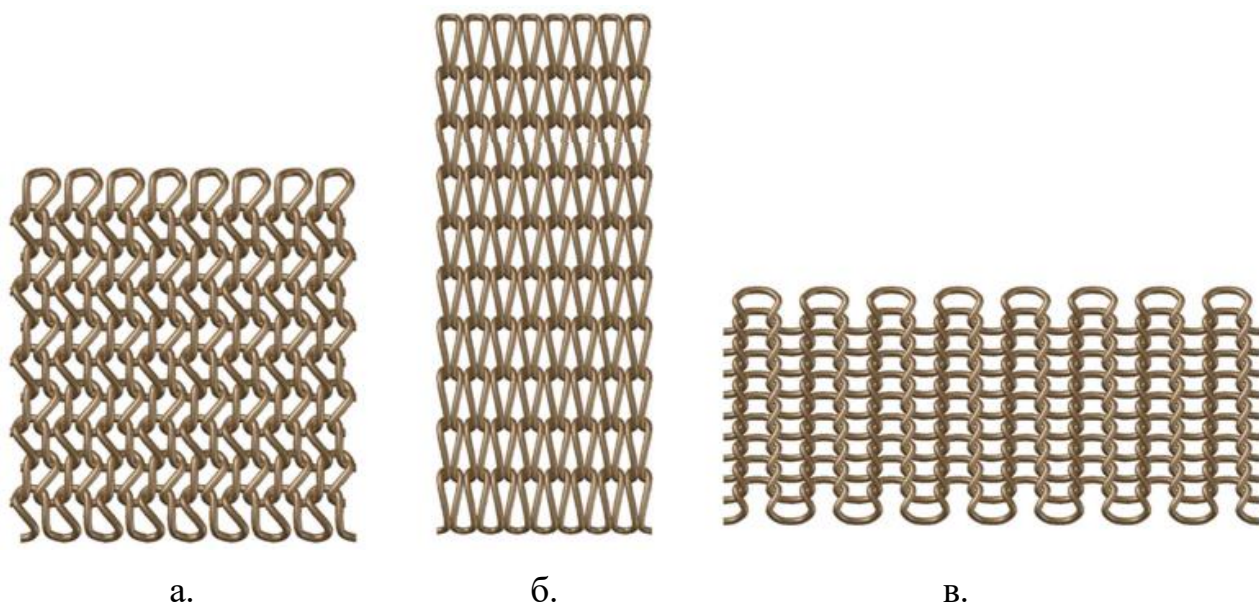


Рис. 4.8 3D моделі зразка трикотажу переплетення гладь з параарамідної нитки: а. – умовно рівноважний стан; б. – розтягнутий вздовж петельних стовпчиків; в. – розтягнутий вздовж петельних рядів

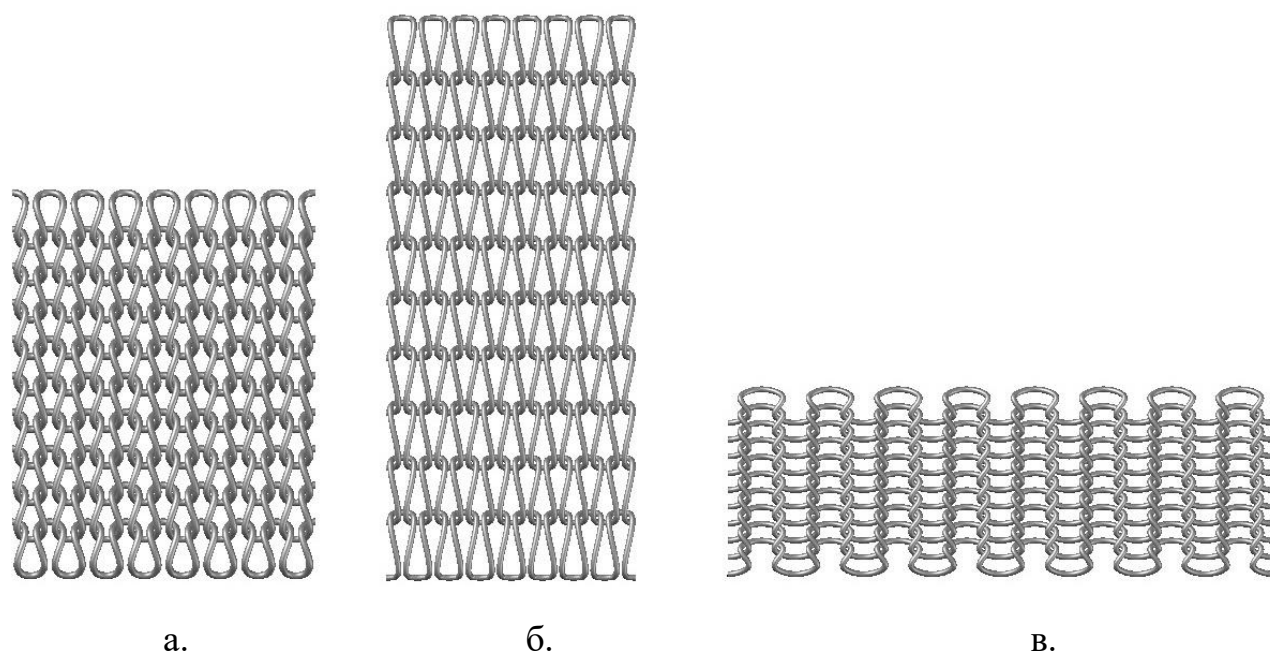


Рис. 4.9 3D моделі зразка трикотажу переплетення гладь з поліетиленової нитки: а – умовно рівноважний стан; б – розтягнутий вздовж петельних стовпчиків; в – розтягнутий вздовж петельних рядів

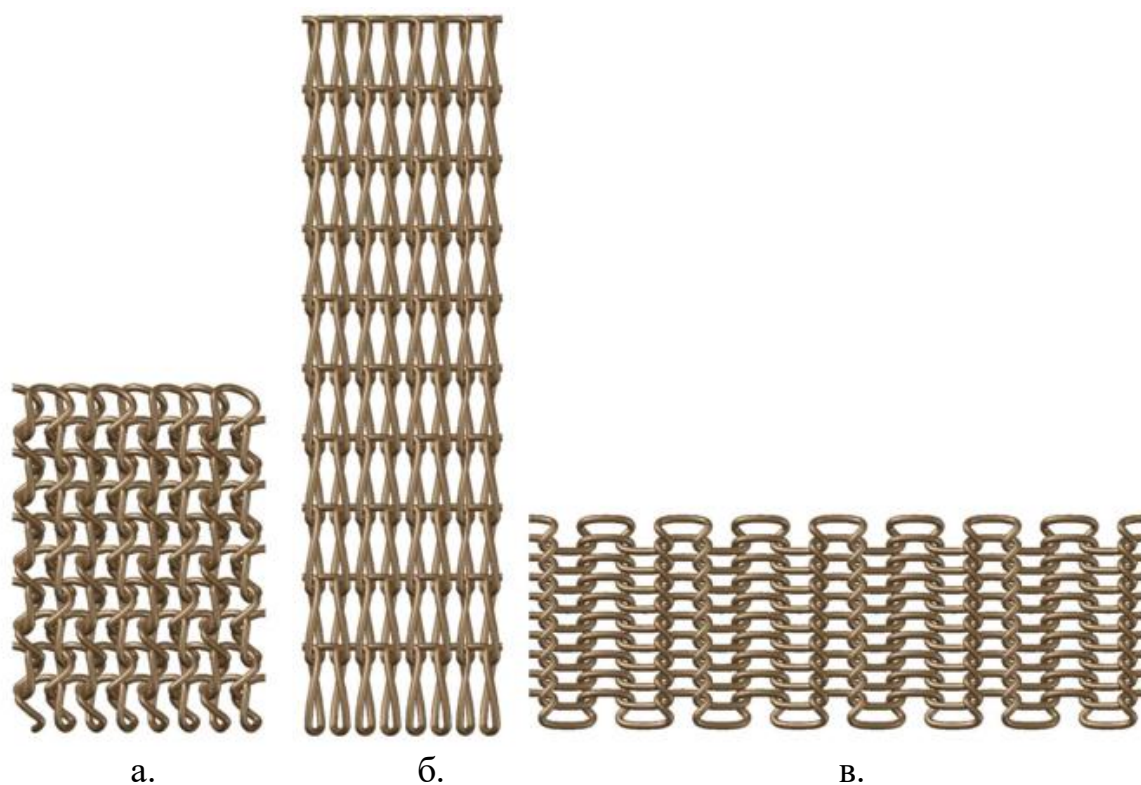


Рис. 4.10 3D моделі зразка трикотажу переплетення ластик з параарамідної нитки: а. – умовно рівноважний стан; б. – розтягнутий вздовж петельних стовпчиків; в. – розтягнутий вздовж петельних рядів

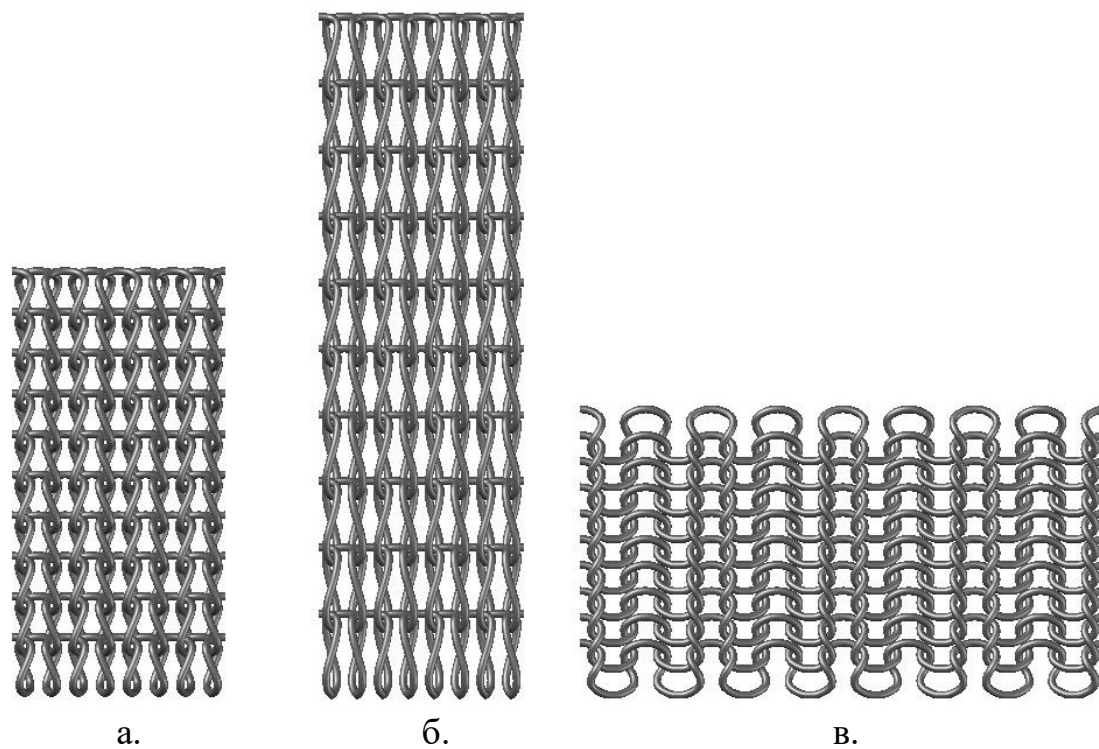


Рис. 4.11 3D моделі зразка трикотажу переплетення ластик з поліетиленової нитки: а – умовно рівноважний стан; б – розтягнутий вздовж петельних стовпчиків; в – розтягнутий вздовж петельних рядів

#### **4.4 Визначення повітропроникності трикотажних полотен підвищеної міцності з використанням сучасних комп'ютерних систем**

Показник повітропроникності є одним з показників трикотажу, які залежать від щільності розташування ниток у його структурі, діаметру ниток і, в цілому, від геометричних характеристик ниток у його структурі. Тому проведення чисельного експерименту з визначення повітропроникності за допомогою геометричних моделей у програмно-аналітичному комплексі та порівняння отриманих результатів з результатами, визначеними за допомогою лабораторного обладнання може бути проведено з метою верифікації моделі та прийняття рішення про можливість її використання для моделювання інших властивостей.

З метою встановлення адекватності створених моделей проведено експеримент з визначення повітропроникності дослідних зразків трикотажу на приладі FF-12 та 3D моделей структури трикотажу у комп'ютерному середовищі Autodesk Simulation CFD.

Взагалі, повітропроникність – показник, що характеризується коефіцієнтом, який показує кількість повітря, що проходить через 1 м<sup>2</sup> трикотажу за 1 с, при певній різниці тиску по обидва боки матеріалу [6]. Даний показник залежить від щільності, виду переплетення, товщини, волокнистого складу та структури ниток, з яких вироблений трикотаж. Повітропроникність має значення для регулювання газового складу, вологості і температури підодягового простору, що важливо у тому числі і для ЗІЗ.

При проектування виробів технічного призначення визначення повітропроникності на етапі проектування є важливим питанням, оскільки, в залежності від призначення предмету одягу можна встановити необхідні комфортні умови для споживача.

Визначення показника повітропроникності трикотажу проведено за стандартною методикою, описаною у ГОСТ 12088-77 [7]. Зображення

лабораторної установки для визначення даного показника представлено на рисунку 4.12.

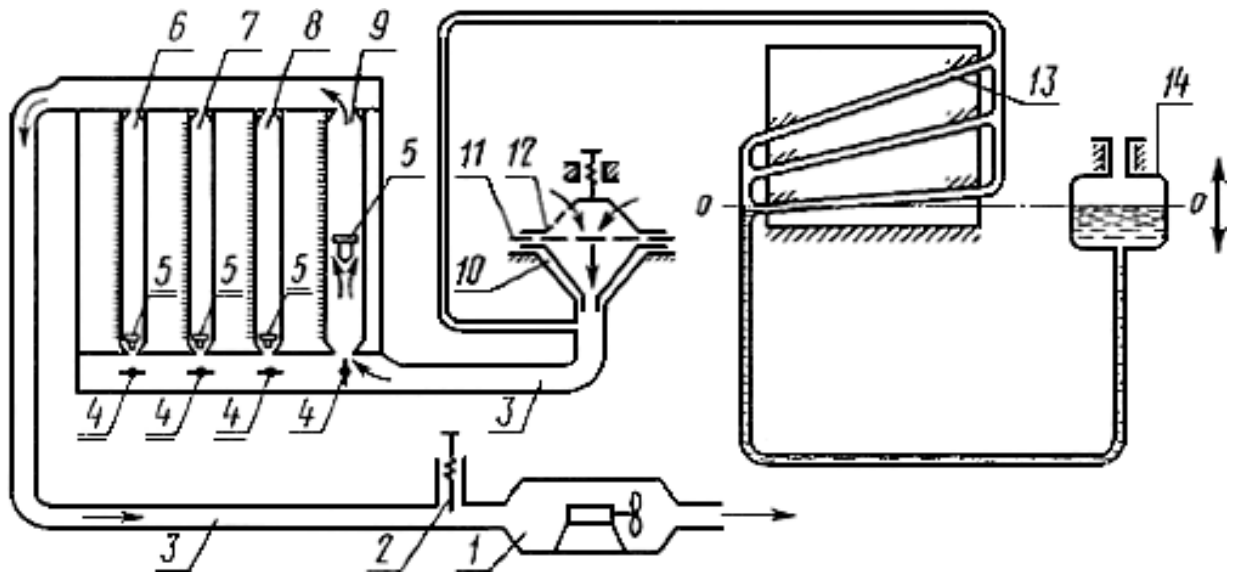


Рис. 4.12 Прилад марки ATL – 2 (FF–12)

Показник повітропроникності необхідно вимірювати в десяти різних місцях трикотажу, розташованих по діагоналі. За результат випробування приймаємо мінімальне і максимальне значення повітропроникності з усіх вимірів кожної точкової проби.

Показники повітропроникності полотна  $Q$  в  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  кожної точкової проби можна визначити за формулою згідно до ДСТУ:

$$Q = \frac{V \cdot 10000}{3600S} = \frac{100V}{36S} \quad (4.7)$$

де  $V$  – середнє значення витрати повітря з усіх випробувань точкової проби (показання ротаметра),  $\text{дм}^3/\text{год}$ ;

$S$  – Випробувана площа зразка,  $\text{см}^2$ .

Результат підраховуємо з похибкою до  $0,1 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  і округлюємо до  $1,0 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  (Додаток Е). Отримані розрахунки внесено до таблиці 4.2



Таблиця 4.2.

Повітропроникність трикотажних полотен з сировини підвищеної міцності, визначена з використанням лабораторної установки FF-12

Вид переплетення, сировина	Повітропроникність трикотажу, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$		
	трикотаж в умовно–рівноважному стані	трикотаж, розтягнутий по довжині	трикотаж, розтягнутий по ширині
гладь, параарамідна нитка 58,8тексХ2	2252,25	2311,45	2324,44
гладь, високомолекулярна поліетиленова нитка 44тексХ3	1617	1645,88	2353,31
ластик, параарамідна нитка 58,8 тексХ2	1445,48	1833,56	2310
ластик, високомолекулярна поліетиленова нитка 44тексХ3	1296,49	1660,31	1472,63

Результати, наведені у таблиці 4.2, наглядно ілюструють відмінність повітропроникності трикотажу однакового за видом сировини та переплетенням, в залежності від стану полотна. Під дією зусилля розтягу трикотаж, на відміну від умовно–рівноважного стану змінює свою повітропроникність, найбільший показник повітропроникності має зразок трикотажу переплетення гладь з поліетиленової нитки 44тексх3 в максимально напруженому стані по ширині, а найменший – ластик з параарамідної нитки в умовно–рівноважному стані.

Далі експеримент відтворено у комп'ютерному середовищі.

У середовищі AutoCAD 2020 створено модель труби, діаметр якої відповідає діаметру реального приладу і складає 35 мм (рис.4.13) та побудовано 3D модель зразка трикотажу.

Аналіз можливостей програмного забезпечення для моделювання повітропроникності показав, що для запланованого у роботі чисельного експерименту можна обрати програмне забезпечення Autodesk CFD Simulation.



Рис. 4.13 Модель зразка трикотажу та модель трубки, що імітує трубу установки FF-12, створені у програмному середовищі AutoCAD

На рис. 4.14 схематично показано принцип проведення віртуального експерименту у середовищі, а саме: тиск на вході, тиск на виході, напрямок проходження повітря [8].

Як видно зі схеми, за аналогією із постановкою експерименту у лабораторії, у комп'ютерному середовищі міститься об'єкт (модель) із заданою геометрією, що відтворює геометрію реального прототипу. За допомогою інструментів програми, обраної для моделювання, матеріалу об'єкту надаються певні властивості – тип, густина речовини, внутрішня пористість, і т. ін. Та задаються умови (перепад тиску) ідентичні

характеристикам процесу, за яких відбувається реальний експеримент.

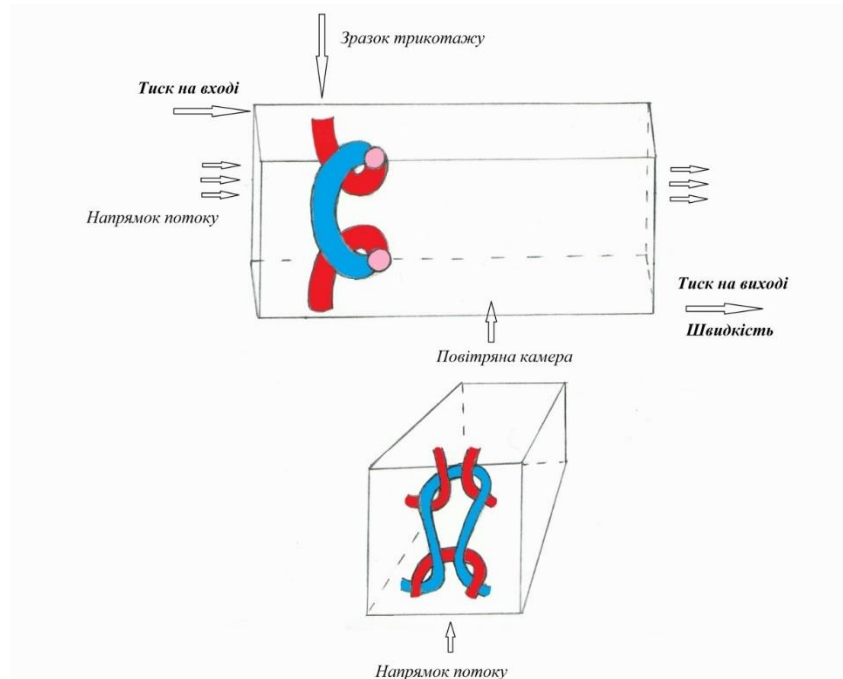


Рис. 4.14 Схема компоновки моделі та встановлення умов для комп'ютерного моделювання проходження повітря крізь фрагмент трикотажу

Продукти сімейства Autodesk Simulation CFD застосовуються для вирішення різних завдань, що вимагають моделювання потоків рідин і процесів теплопередачі. Для проведення чисельного експерименту для кожної моделі зразка (разом із трубкою) виконувались такі дії як: імпорт у середовище Autodesk CFD Simulation, встановлення граничних умов, вибір сітки та безпосередньо проведення розрахунку з формуванням файлу з результатами.

Моделювання проходження повітря крізь трикотаж відбувається шляхом виконання наступної послідовності дій:

1. встановлення матеріалів потоку та труби, а саме повітря та алюміній відповідно;
2. встановлення тиску на вході, що відповідає атмосферному тиску – 101325 Па;
3. встановлення тиску на виході з урахуванням перепаду тиску – 101276 Па;
4. запуск розрахунку.

Вікно програми в процесі проведення експерименту у комп'ютерному середовищі Autodesk Simulation CFD представлено на рисунку 4.15.

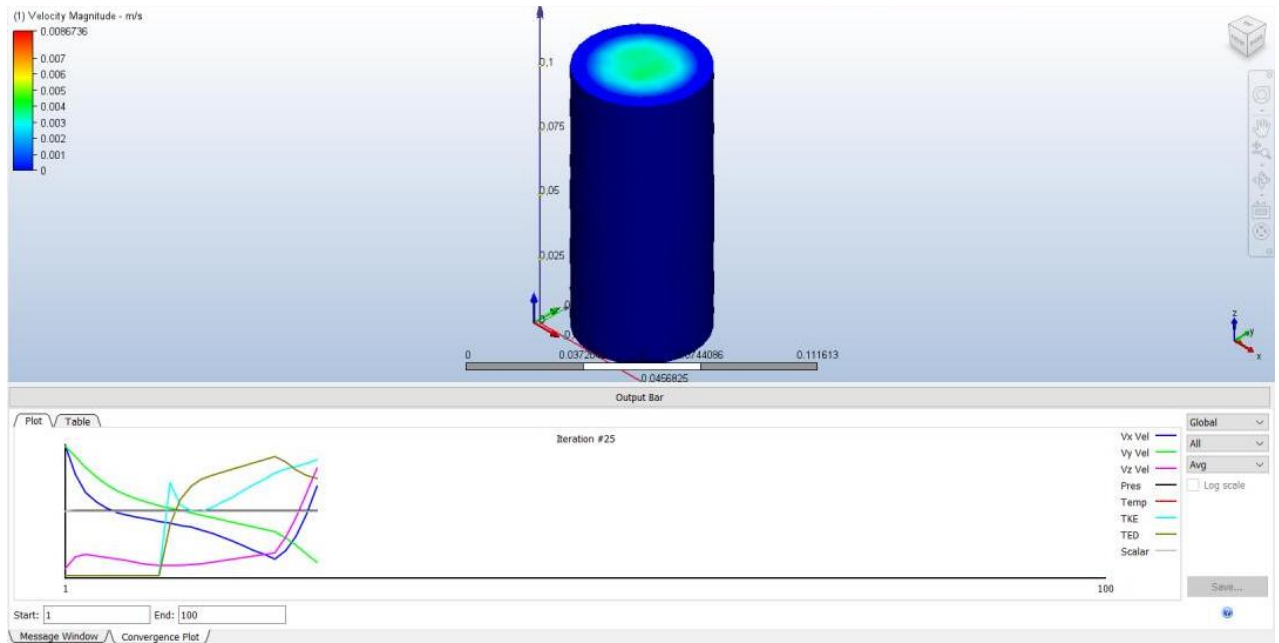


Рис. 4.15 Вікно програми Autodesk Simulation CFD у процесі реалізації експерименту

У результаті експерименту програмне забезпечення формує звіт результатів, що містить показник витрати повітря (Volume Flow Out), який дозволяє оцінити повітропроникність полотна. Отримані результати перераховано за стандартними формулами повітропроникності, отримані результати внесено у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняльна таблиця результатів з визначення повітропроникності трикотажних полотен с сировини підвищеної міцності,  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

	Вид сировини, переплетення	Стан трикотажу	Програма Autodesk Ssimulation CFD	Установка FF-12	Відхилення, %
1	нитка параарамідна, переплетення гладь	Умовно–рівноважний	2317	2252,25	2,79
2		розтягнений по ширині	2475,07	2324,44	6,09
3		розтягнений по довжині	2443,46	2311,45	5,4

Продовження таблиці 4.3

4	нитка поліетиленова, переплетення гладь	умовно–рівноважний	1643,67	1617	1,62
5		розтягнений по ширині	2193,43	2353,31	7,2
6		розтягнений по довжині	1602	1645,88	2,74
7	нитка параарамідна, переплетення ластик	умовно–рівноважний	1539,53	1445,48	6,11
8		розтягнений по ширині	2428,13	2310	4,87
9		розтягнений по довжині	1934,69	1833,56	7,23
10	нитка поліетиленова, переплетення ластик	Умовно–рівноважний	1226,7	1296,49	5,71
11		розтягнений по ширині	1404,74	1472,63	4,83
12		розтягнений по довжині	1573,03	1660,31	5,55

На підставі отриманих результатів реалізованого експерименту можна стверджувати, що максимальне відхилення складає 7,2 %. Удосконалення результатів може бути виконане шляхом уточнення прототипів реальних зразків трикотажу. За наявності баз даних властивостей сировини можливо відтворити подібні експерименти без необхідності відтворення реальних зразків. Відтворені тривимірні прототипи полотен з сировини підвищеної міцності можуть бути використані для більш детального аналізу та поведінки у експлуатації для виготовлення виробів для захисту від дії механічних ушкоджень.

#### 4.5 Макромодель трикотажу переплетення ластик 1+1

Враховуючи прийнятий порядок моделювання з використанням моделей мезорівня та макрорівня, слід зазначити, що для моделювання деформацій у межах незначних навантажень, можуть бути застосовані моделі макрорівня. Оскільки трикотаж переплетення гладь має у своїй структурі лише один петельний шар, його макромодель може бути подана у системах моделювання

як поверхня із заданою товщиною. Тоді як макромоделі трикотажу подвійних переплетень повинні бути побудовані таким чином, щоб відтворити у комп'ютерному середовищі характер зміни геометрії поверхні та зміни положення елементів структури відносно інших елементів структури у процесі розтягу.

Для створення комп'ютерної моделі необхідно визначити особливості структури трикотажу переплетення ластик. Схематично трикотаж переплетення ластик 1+1 можна зобразити як на рисунку 4.16.

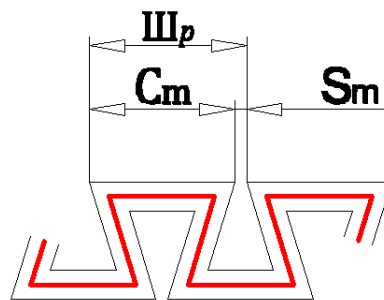


Рис. 4.16 Переплетення ластик 1+1 в умовно–рівноважному стані

Можна припустити, що при поступовому розтязі зразка трикотажу переплетення ластик 1+1 по ширині, існують дискретні стани розтягу трикотажу  $T_n$ , де  $n$  – номер стану, що змінюється від умовно–рівноважного стану (без навантаження), при якому  $n=0$  до початку руйнування зразка, де  $n=r$ . Кожен стан розтягу  $T_n$  характеризується певним значенням прикладеного зусилля, шириною, товщиною, видовженням, конфігурацією нитки в елементах структури трикотажу, а також співвідношенням між шириною виворітних та лицьових петельних стовпчиків всередині кожного рапорту в проєкції на площину полотна [9].

Якщо позначити ширину рапорту –  $Шр_n$ , ширину петельного стовпчика –  $C_n$ , а відстань між найближчими точками двох сусідніх остовів петель вздовж петельного ряду –  $S_n$  то, можна сказати, що у процесі розтягу по ширині за рахунок зміщення петельних стовпчиків лицьової сторони відносно петельних стовпчиків виворотної сторони, спочатку збільшується відстань  $S_n$ . Якщо у вільному стані для трикотажу ластик 1+1 з деяких видів сировини відстань  $S_0$  практично дорівнює нулю, тобто  $Шр_0 = C_0$ , то поступово під дією розтягуючих

зусиль зі збільшенням ширини рапорту  $Ш_p$ , частка  $S_n$  у рапорті збільшується, а частка остова петлі  $C_n$  у рапорті зменшується.

При подальшому розтязі можна визначити таке значення  $n=k$ , при якому виконується рівність  $C_k = S_k$  (рис. 4.17). Стан  $T_k$  характеризується тим, що перерозподілу нитки в петлях та перетягування нитки в протязку з остова ще не відбувається.

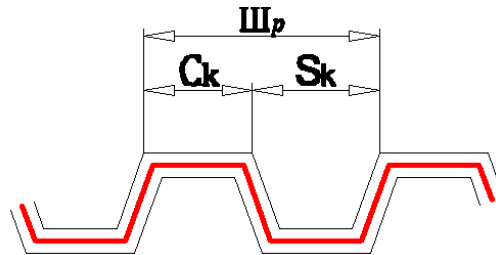


Рис. 4.17 Ширина рапорту та його складових частин без заходу остовів одного шару трикотажу за остови іншого

Відомо, що вимоги до тривимірних моделей матеріальних об'єктів визначаються, у першу чергу, метою створення та сферою застосування даної моделі. Деталізація моделі трикотажу на рівні ниток, а особливо, на рівні волокон, не завжди є доцільною. Адже така деталізація створює надмірне навантаження на комп'ютер. Для моделювання багатьох фізичних процесів, що протікають у трикотажі, можна використовувати так звані поверхневі моделі. Під поверхневими моделями можна розуміти моделі трикотажу, що повторюють геометрію його поверхні без деталізації на рівні ниток. На рис. 4.18 наведено тривимірну модель трикотажу переплетень ластик 1+1 з деталізацією на рівні ниток та без деталізації.

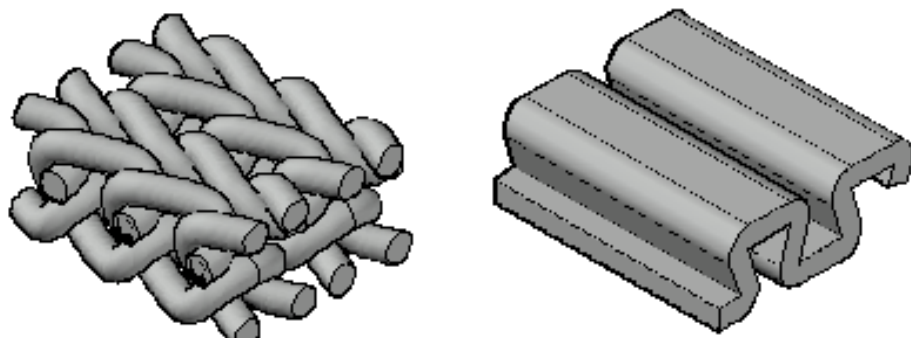


Рис. 4.18 Моделі трикотажу переплетень ластик 1+1

У контексті вирішення задачі моделювання процесу одновісної деформації трикотажу прийнято припущення про можливість застосування поетапного моделювання з використанням як моделей мезо-рівня (з деталізацією на рівні ниток), так і моделей макро-рівня, що відтворюють геометрію трикотажу у спрощеному вигляді (як просторову оболонку певної товщини). А також про можливість моделювання деформацій розтягу трикотажу ластичних переплетень з використанням моделі саме макро-рівня. У залежності від алгоритмів та мети моделювання фізичних процесів, трикотаж може бути представлений як оболонка певної товщини, що характеризується заданими показниками пористості, пружності, гігроскопічності, теплопровідності, жорсткості, драпірувальності, та ін.

У системах моделювання одягу тканина чи трикотаж подаються як текстильні оболонки. Для їх опису використовують математичний апарат, призначений для роботи з поверхнями з різною кривизною. З іншого боку, у моделюванні структури трикотажу, ми зазвичай використовуємо поняття «площини полотна», під якою розуміємо площину, що проходить по центру полотна, викладеного на плоску основу, паралельно площині цієї основи. У контексті опису макромоделі трикотажу переплетення ластик 1+1 пропонується використовувати поняття центральної та серединної поверхонь. На рис. 4.19 центральна поверхня позначена як  $P_s$ . А під серединною пружною поверхнею розуміємо поверхню  $P_c$ , що проходить через точки переплетення усіх остовів та у проєкції на площину, перпендикулярну поверхні  $P_s$ , та паралельну лініям петельних рядів. Дана серединна пружна поверхня утворює періодичну ламану лінію.

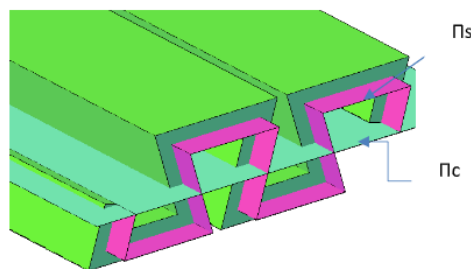


Рис. 4.19 Модель трикотажу переплетення ластик 1+1 з позначенням центральної ( $P_s$ ) та серединної ( $P_c$ ) поверхонь



У загальному випадку обидві поверхні можуть мати кривизну у взаємно перпендикулярних площинах. Але у даному дослідженні ми розглядаємо окремий випадок, коли центральна поверхня  $P_c$  є площиною, а серединна поверхня має кривизну у площині, паралельній лінії петельного ряду та перпендикулярній площині полотна.

#### **Висновки до розділу 4**

1. У ході дослідження описано математичну модель трикотажу у розтягнутому стані та розроблено окремий модуль комп'ютерної програми для автоматизації побудови 3D моделей трикотажу у напруженому стані при однобічному розтягненні вздовж петельного ряду або петельного стовпчика.

2. Визначено геометричні характеристики зразків трикотажу переплетень гладь та ластик, вироблених з параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток лінійної густини 58,8тексХ2 та 44тексХ3 відповідно в умовно-рівноважному та максимально напруженому внаслідок розтягування вздовж лінії петельного ряду або стовпчика.

3. З використанням цифрового мікроскопа Micro Capture Pro та лабораторного обладнання визначено характеристики структури трикотажу для створення тривимірних прототипів надміцного трикотажу.

4. Створено геометричні 3D моделі кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних прараарамідних та поліетиленових ниток у вільному та максимально розтягнутому стані вздовж лінії петельного ряду або стовпчика.

5. Розроблено методику визначення показників якості трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання.

6. Адекватність одержаних моделей перевірено шляхом відтворення в системах комп'ютерного моделювання експерименту з визначення повітропроникності. За аналогією до реальної установки з визначення повітропроникності текстильних матеріалів у програмному забезпеченні

AutoCAD відтворено трубу, в якій по черзі зафіксовано розроблені 3D моделі структури трикотажу у трьох станах, що відповідає реальному експерименту з визначення повітропроникності на приладі FF–12. Для відтворення імітації проходження повітря використано програмне забезпечення Autodesk Simulation CFD. В програмному забезпеченні Autodesk Simulation CFD задані умови, які відповідають реальному експерименту, а саме тиск на вході та об'єм повітря. Після обробки результатів дослідження встановлено, що максимальне відхилення від реального експерименту становить 7,2%.

7. Одержані тривимірні геометричні моделі структури трикотажу з високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток можна вважати адекватними та рекомендувати їх для проведення віртуальних експериментів в комп'ютерних системах моделювання з визначення властивостей трикотажу. Їх використання в системах комп'ютерного моделювання дозволяє, у свою чергу, виключити необхідність виготовлення на в'язальному обладнанні дослідних зразків трикотажу з високоміцних ниток та проведення випробувань з визначення його властивостей з метою створення текстильного матеріалу з прогнозованими фізико–механічними характеристиками.

#### Список використаних джерел до розділу 4

1. Bobrova S., Ielina T., Beskin N., Bezsmertna V. and 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. Vol. 25. № 2. P. 19–26.
2. А.с. 46469 Україна. Комп'ютерна програма «Структура – 3D». /Єліна. Т. В., Галавська Л.Є. – заявка №46726 від 25.09.2012, опубл. 23.11.2012.
3. Далидович А. С. Основы теории вязания. М.: Легкая индустрия. 1970г. 432с.
4. Кубляков А.И. Структура и механические свойства трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1973. 240 с.
5. Король В.П., Галавська Л.Є. Основы теории в'язання візерункового трикотажу. К.: Видавництво «Кафедра», 2014. 498 с.

6. Флерова Л.Н., Сурикова Г.И. Материаловедение трикотажа. М.: Легкая индустрия, 1972. 184 с.
7. ДСТУ ISO 9237:2003 Текстиль. Тканини. Визначання повітропроникності (ISO 9237:1995, IDT). [Чинний від 01.07.2004]. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 6 с. (Національний стандарт України).
8. Безсмертна В.І., Єліна Т.В., Галавська Л.Є. Моделювання процесу проходження повітря крізь трикотаж. *Технології та дизайн*. 2014. № 4(13). URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/1055> (дата звернення 18.07.2019).
9. Єліна Т. В., Галавська Л. Є., Манойленко О.П. Створення параметричної моделі поверхні трикотажу переплетення ластик 2×2. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2020. № 2 (144). С. 80–89.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальне науково–технічне завдання, що полягає у вдосконаленні існуючих методів та засобів прогнозування на етапі проєктування характеристик структури й властивостей кулірного трикотажу з високоміцних ниток та втрати їх міцності відповідно до параметрів в'язання на плосков'язальному обладнанні.

1. Аналіз досліджень у сфері виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток дозволив систематизувати інформацію щодо факторів, які впливають на параметри структури трикотажу з даних видів сировини та втрату їх міцності у процесі переробки на в'язальному обладнанні та розробити план щодо вирішення питання прогнозування властивостей трикотажу з високоміцних ниток на етапі його проєктування.

2. У результаті реалізації трифакторного експерименту отримані регресійні математичні залежності, що описують вплив параметрів в'язання трикотажу на параметри його структури та показники втрати міцності ниток після в'язання. Встановлені закономірності впливу параметрів в'язання на параметри структури кулірного трикотажу, виробленого з параарамідних й високомолекулярних поліетиленових ниток, та показники втрати їх міцності після в'язання.

3. Визначені раціональні параметри в'язання трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток. Так трикотаж з мінімальною поверхневою густиною  $m_s$ , максимальною товщиною  $M$  та мінімальною втратою міцності для даних видів переплетень можна одержати за наступних параметрів в'язання:

- для трикотажу, виробленого переплетенням гладь з параарамідних ниток, за умови зусилля відтягування полотна  $Q=1659,85\text{сН}$ , лінійної густини нитки  $T=58,8\text{текс}$  та глибини кулірування  $h=3,5$  досягається мінімальний рівень втрати міцності, який складає 10,49%. При цьому трикотаж має

поверхневу густину  $m_s=143,66\text{г/м}^2$ , довжину нитки в петлі  $\ell=8,5$  мм та товщину  $M=0,5\text{мм}$ ;

- для трикотажу, виробленого переплетенням гладь з поліетиленових ниток раціональними параметрами структури, що забезпечують мінімальний рівень втрати міцності ниток 13,08% після їх переробки на в'язальному обладнанні є поверхнева густина  $m_s=117,6\text{ г/м}^2$ , довжина нитки в петлі  $\ell=8,4\text{мм}$  та товщина трикотажу  $M=0,52\text{мм}$ . Одержання трикотажу із зазначеними параметрами структури можливе за наступних параметрів в'язання: лінійна густина  $T=44\text{текс}$ , глибина кулірування  $h=3,5$ , зусилля відтягування  $Q=1659,85\text{сН}$ ;

- для виготовлення трикотажу з параарамідних ниток переплетенням ластик раціональними параметрами в'язання, що забезпечують мінімальний рівень втрати міцності ниток 18,76% після їх переробки на в'язальному обладнанні є зусилля відтягування полотна  $Q=1659,85\text{ сН}$ , лінійна густина нитки  $T=58,8\text{текс}$  та глибина кулірування  $h=3,5$ . При цьому поверхнева густина трикотажу складає  $m_s= 321\text{ г/м}^2$ , довжина нитки в петлі  $\ell= 14,5\text{ мм}$ , товщина  $M=0,52\text{ мм}$ ;

- для виготовлення трикотажу з поліетиленових ниток переплетенням ластик раціональними параметрами в'язання, що забезпечують мінімальний рівень втрати міцності ниток після їх переробки на в'язальному обладнанні у розмірі 4,64%, є лінійна густина ниток  $T=44\text{текс}$ , зусилля відтягування полотна  $Q=1659,85\text{сН}$  та глибина кулірування  $h=3,5\text{мм}$ . При цьому одержимо трикотаж з наступними параметрами структури: поверхнева густина  $m_s=215,2\text{г/м}^2$ , довжина нитки в петлі  $\ell=13,95\text{ мм}$ ,  $M=1,098\text{мм}$ .

4. З використанням одержаних регресійних математичних залежностей розроблено комп'ютерну прикладну програму 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. Програма дозволяє знайти найкращий діапазон значень фактора, при якому обрані

параметри та властивості трикотажу набуватимуть таких значень, які б задовольняли поставленим вимогам до якості високоміцного трикотажу за умови знаходження фактора в реально існуючому діапазоні.

5. Визначено поведінку високоміцних ниток під дією циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» та встановлено закономірності впливу кількості циклів навантажень та лінійної густини параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток на втрату їх міцності. За результатами дослідження впливу кількості циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» на втрату міцності нитки із застосуванням математико–статистичного методу обробки даних отримані кореляційні залежності, що дозволяють встановити необхідну кількість циклів навантаження у відповідності до заданого значення втрати міцності параарамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток.

6. За граничну величину втрати міцності нитки у процесі її переробки на в'язальному обладнанні прийнято 20%. Для кожного виду високоміцних ниток визначено кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя», що призводить до втрати міцності ниток на величину 20%. Для високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної густини 44текс кількість циклічних навантажень, що спричиняє втрату міцності у 20% складає 390 циклів, для аналогічної нитки лінійної густини 44тексХ3 – 130 циклів; для параарамідної нитки лінійної густини 58,8текс – 100 циклів, а для нитки 58,8тексХ2 – 180 циклів.

7. Для визначення опору втомі ниток внаслідок дії циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя» визначено питомий коефіцієнт  $K_{Nи/T}$ , що вказує на кількість циклічних навантажень на одиницю лінійної густини високоміцних параарамідних та поліетиленових ниток. Даний питомий коефіцієнт дозволяє розрахувати необхідну кількість циклів навантаження «розтягування–вигин–тертя» для встановлення граничної міцності параарамідних та високомолекулярних ниток незалежно від їх лінійної густини. Для високомолекулярної поліетиленової нитки лінійної

густини  $\leq 44$ текс він складає 8,86; для аналогічної нитки лінійної густини  $\leq 88$ текс – 4,92; для поліетиленової нитки  $\leq 132$  текс – 0,98; для параарамідної нитки – 1,6.

8. У ході дослідження описано математичну модель трикотажу у розтягнутому стані та розроблено окремий модуль комп'ютерної програми для автоматизації побудови 3D моделей трикотажу у напруженому стані при одновісному розтягненні вздовж петельного ряду або стовпчика. За експериментально визначеними параметрами структури трикотажу створено геометричні 3D моделі структури кулірного трикотажу переплетень гладь та ластик з високоміцних прараарамідних та поліетиленових ниток в умовно–рівноважному та максимально розтягнутому стані вздовж лінії петельного ряду або стовпчика.

9. Розроблено методику визначення показників якості трикотажу з використанням розроблених 3D моделей його структури в системах комп'ютерного моделювання. Адекватність одержаних моделей перевірено шляхом відтворення в системах комп'ютерного моделювання експерименту з визначення повітропроникності. За аналогією до реальної установки з визначення повітропроникності текстильних матеріалів у програмному забезпеченні AutoCAD відтворено трубу, в якій по черзі зафіксовано розроблені 3D моделі структури трикотажу у трьох станах, що відповідає реальному експерименту з визначення повітропроникності на приладі FF–12. Для відтворення імітації проходження повітря використано програмне забезпечення Autodesk Simulation CFD. В програмному забезпеченні Autodesk Simulation CFD задані умови, які відповідають реальному експерименту, а саме тиск на вході та об'єм повітря. Після обробки результатів дослідження встановлено, що максимальне відхилення показника повітропроникності, одержаного з використанням системи комп'ютерного моделювання, від реального експерименту становить 7,2%.

## ДОДАТОК А

## А.1

В таблиці А.1 наведені умови трифакторного експерименту для довжини нитки в петлі  $\ell$  трикотажу з параарамідних ниток з полотна переплетення гладь 58,8 та 58,8Х2 текс.

Таблиця А.1

Умови експерименту ПФЕ 23 для параарамідної нитки

Умови проведення експерименту	Натуральні значення і-го фактора			Кодовані значення і-го фактора		
	X1,Текс	X2,мм	X3,сН	X1	X2	X3
Основний рівень фактора X <sub>0i</sub>	88,2	3	2251,395	0	0	0
Інтервал варіювання факторів I <sub>i</sub>	29,4	0,5	591,545	1	1	1
Верхній рівень фактора X <sub>vi</sub>	58,8x2	3,5	2842,94	1	1	1
Нижній рівень фактора X <sub>ni</sub>	58,8	2,5	1659,85	-1	-1	-1

де X<sub>1</sub> – лінійна густина, текс:

X<sub>2</sub> – глибина кулірування, мм;

X<sub>3</sub> – зусилля відтягування, сН.

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах (m=5) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.2.

Таблиця А.2

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників довжини нитки в петлі  $\ell$ , мм

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	7,64	7,6	7,63	7,71	7,66	7,648	0,00167
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	7,75	7,77	7,76	7,69	7,73	7,74	0,001
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	8,51	8,55	8,56	8,54	8,55	8,542	0,00037
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	8,25	8,24	8,24	8,26	8,22	8,242	0,00022
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	8,06	7,95	7,92	7,96	8,01	7,98	0,00305
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	7,8	7,84	7,73	7,89	7,8	7,812	0,00347
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	8,04	8,03	8,04	8,1	8,09	8,06	0,00105
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	8,67	8,69	8,7	8,65	8,69	8,68	0,0004
S																0,01123

Розраховуємо дисперсію S<sup>2</sup><sub>u</sub>{Y} за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.2:

$$S^2_u \{Y\} = \frac{1}{m-1} \sum_{U=1}^m \{Y_1 - \bar{Y}\} \quad (A.1)$$



Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в досліді матриці з допомогою критерії Кочрена:

$$G_R = \frac{S_{u\max}^2 \{Y\}}{\sum_{u=1}^N S_u^2 \{Y\}} = \frac{0,00305}{0,011} = 0,271 \quad (\text{A.2})$$

Табличне значення критерія Кочрена знаходимо за додатком Б.

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,271 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

Для ортогональних матриць планування експерименту коефіцієнти регресії визначаються за формулою:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} \times \bar{Y}_u, \quad (i = 0, 1, \dots, M) \quad (\text{A.3})$$

Оскільки за матрицею планування ПФЕ визначається математична модель у вигляді неповного полінома третього порядку, при  $M = 3$ , то  $Y_R$  має вигляд:

$$Y_R = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (\text{A.4})$$

при  $M = 3$  коефіцієнти регресії  $b_{ij}$  визначаються за формулами:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} \times X_{ju} \times \bar{Y}_u, \quad (i \neq j) \quad (\text{A.5})$$

$$b_{ijl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{ij} \times X_{ju} \times X_{lu} \times \bar{Y}_u, \quad (i \neq j \neq l) \quad (\text{A.6})$$

Отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 8,088$ ;  $b_1 = 0,0305$ ;  $b_2 = 0,293$ ;  $b_3 = 0,045$ ;  $b_{12} = 0,0495$ ;  $b_{13} = 0,0825$ ;  $b_{23} = -0,056$ ;  $b_{123} = 0,1475$ .

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії виконуємо з допомогою критерія Ст'юдента виконуємо за формулою:

$$t_R \{b_i\} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}, \quad \text{де } S^2\{b_i\} = \frac{1}{N} S^2\{\bar{Y}\}; \quad (\text{A.7})$$

Дисперсія середнього значення становить:

$$S^2\{\bar{Y}\} = \frac{1}{m} S^2\{Y\}; \quad (\text{A.8})$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається:

$$S^2\{Y\} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2\{Y_i\}. \quad (\text{A.9})$$

В нашому випадку дисперсія відтворюваності та дисперсія середнього значення дорівнюють:  $S^2\{Y\} = 0,001$ ;  $S^2\{\bar{Y}\} = 0,0003$ .

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою:

$$t_R \{b_i\} = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}$$

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 3,50937 \cdot 10^{-05}$ ;  $S\{b_i\} = 0,006$ ;  $t_R\{b_1\} = 5,1485$ ;  $t_R\{b_2\} = 49,46$ ;  $t_R\{b_3\} = 7,596$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 8,356$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 13,926$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 9,453$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 24,899$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента знаходимо за додатком В.

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається. В нашому прикладі значущі всі значення  $b$ .

Отже, взаємозв'язок між довжиною нитки в петлі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 8,09 + 0,305x_1 + 0,29x_2 + 0,04x_3 + 0,05x_1x_2 + 0,08x_1x_3 - 0,06x_2x_3 + 0,15x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний, використовуючи співвідношення:

$$h = \frac{h-h_0}{I_i}, \quad (\text{A.10})$$

$$q = \frac{q-q_0}{I_i} \quad (\text{A.11})$$

$$t = \frac{t-t_0}{I_i}, \quad (\text{A.12})$$

де,  $x_{oi}$  – натуральне значення основного рівня  $i$ -ого фактора;

$I_i$  – інтервал варіювання  $i$ -ого фактора.

$$h = \frac{h-3}{0,5} \quad t = \frac{t-88,2}{29,4} \quad q = \frac{q-2251,4}{591,5}$$

$$Y_r = 8,09 + 0,305\left(\frac{t-88,2}{29,4}\right) + 0,29\left(\frac{h-3}{0,5}\right) + 0,04\left(\frac{q-2251,4}{591,5}\right) + 0,05\left(\frac{t-88,2}{29,4}\right)\left(\frac{h-3}{0,5}\right) - 0,08\left(\frac{t-88,2}{29,4}\right)\left(\frac{q-2251,4}{591,5}\right) - 0,06\left(\frac{h-3}{0,5}\right)\left(\frac{q-2251,4}{591,5}\right) + 0,15\left(\frac{t-88,2}{29,4}\right)\left(\frac{h-3}{0,5}\right)\left(\frac{q-2251,4}{591,5}\right)$$

Після вирішення рівняння отримаємо:

$$l = -3,48 + 0,09T + 4,08h + 0,47 \cdot 10^{-2}Q - 0,03Th - 0,17 \cdot 10^{-2}hQ - 4,61 \cdot 10^{-5}TQ + 1,7 \cdot 10^{-5}ThQ$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

## A.2.

Умови трифакторного експерименту для поверхневої густини трикотажу переплетення гладь з параарамідних ниток 58,8 та 58,8X2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.3.

Таблиця А.3

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників поверхневої густини трикотажу переплетення гладь з параарамідних ниток  $m_s$ , г/м<sup>2</sup>

U	Фактори				V <sub>ном.ср</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	155,86	155,95	154,95	155,86	155,99	155,72	0,19
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	290,9	291,68	289,39	289,76	291,01	290,55	0,90
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	144,09	143,09	143,1	143,16	144,88	143,66	0,64
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	260,5	259,8	261,06	260,31	260,15	260,36	0,22
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	158,06	159,5	160,24	160,31	158,6	159,34	0,99
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	307,85	307,6	306,37	306,02	308,1	307,19	0,87
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	145,8	144,15	146,1	148,01	146,1	146,03	1,88
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	276,95	277	278,01	276,83	275,98	276,95	0,52
S																6,20

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.3.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідях матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,3$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,3 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 217,477$ ;  $b_1 = 66,287$ ;  $b_2 = -10,723$ ;  $b_3 = 4,902$ ;  $b_{12} = -4,381$ ;  $b_{13} = 3,405$ ;  $b_{23} = -0,163$ ;  $b_{123} = 0,15$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,155$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,775$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 0,019$ ;  $S\{b_i\} = 0,139$ ;  $t_R\{b_1\} = 476,176$ ;  $t_R\{b_2\} = 77,031$ ;  $t_R\{b_3\} = 35,216$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 31,473$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 24,462$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 1,169$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 1,079$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між поверхневою густиною, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 217,48 + 66,29x_1 - 10,72x_2 + 4,9x_3 - 4,38x_1x_2 + 3,4x_1x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$ms = 24,32 + 4,8h + 2,7T - 0,9 \cdot 10^{-2}Q + 0,19 \cdot 10^{-3}TQ - 0,3Th$$

### А.3

Умови трифакторного експерименту для товщини трикотажу переплетення гладь з параарамідних ниток 58,8 та 58,8Х2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах (m=5) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.4.

Таблиця А.4

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників товщини трикотажу переплетення гладь з параарамідних ниток  $M$ ,

мм

U	Фактори				$V_{\text{ном.ср}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	0,54	0,54	0,53	0,54	0,55	0,54	$5 \cdot 10^{-05}$
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	0,92	0,92	0,92	0,92	0,93	0,922	0,00002
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	0,49	0,49	0,48	0,49	0,49	0,488	0,00002
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	0,81	0,82	0,82	0,81	0,82	0,816	$3 \cdot 10^{-05}$
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	0,54	0,54	0,53	0,54	0,54	0,538	0,00002
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,48	0,49	0,49	0,48	0,48	0,484	$3 \cdot 10^{-05}$
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,788	0,00002
S																0,00019

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.4.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,26$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,26 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0=0,6795$ ;  $b_1=0,167$ ;  $b_2=-0,0355$ ;  $b_3=-0,012$ ;  $b_{12}=-0,009$ ;  $b_{13}=-0,0105$ ;  $b_{23}=0,004$ ;  $b_{123}=0,0045$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 4,75 \cdot 10^{-06}$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 2,375 \cdot 10^{-05}$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 5,9375 \cdot 10^{-07}$ ;  $S\{b_i\} = 0,0008$ ;  $t_R\{b_1\} = 216,728$ ;  $t_R\{b_2\} = 46,071$ ;  $t_R\{b_3\} = 15,573$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 11,68$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 13,626$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 5,191$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 5,84$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між товщиною трикотажу переплетення гладь, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 0,68 + 0,17x_1 - 0,35 \cdot 10^{-1}x_2 - 0,01x_3 - 0,01x_1x_2 - 0,01x_1x_3 + 0,4 \cdot 10^{-2}x_2x_3 + 0,45 \cdot 10^{-2}x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$M = 5,17 \cdot 10^{-7}ThQ - 2,16 \cdot 10^{-6}TQ - 0,18 \cdot 10^{-2}Th + 0,012T - 3,21 \cdot 10^{-5}hQ + 1,29 \cdot 10^{-4}Q + 0,06h - 0,06$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

#### A.4

Умови трифакторного експерименту для щільності по горизонталі трикотажу переплетення гладь з параарамідних ниток 58,8 та 58,8X2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1 (Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.5.

Таблиця А.5

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по горизонталі переплетення гладь з параарамідних ниток,  $N_c$

U	Фактори				$V_{\text{ном.сер}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	51	51	51	51	51	51	0
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	50	50	50	50	50	50	0
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	40	41	41	40	38	40	1,5
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	37	37	37	37	37	37	0
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	43	44	44	42	42	43	1
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	44	44	43	45	44	44	0,5
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	39	40	41	41	39	40	1
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	45	45	45	45	45	45	0
S																4

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.5.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,375$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\delta}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,375 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 43,75$ ;  $b_1 = 0,25$ ;  $b_2 = -3,75$ ;  $b_3 = -0,75$ ;  $b_{12} = 0,25$ ;  $b_{13} = 1,25$ ;  $b_{23} = 2,75$ ;  $b_{123} = 0,75$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2 \{ \bar{Y} \} = 0,1$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{ Y \} = 0,5$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2 \{ b_i \}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2 \{ b_i \} = 0,0125$ ;  $S \{ b_i \} = 0,118$ ;  $t_R \{ b_1 \} = 2,236$ ;  $t_R \{ b_2 \} = 29,069$ ;  $t_R \{ b_3 \} = 6,708$ ;  $t_R \{ b_{12} \} = 2,236$ ;  $t_R \{ b_{13} \} = 11,18$ ;  $t_R \{ b_{23} \} = 24,597$ ;  $t_R \{ b_{123} \} = 6,708$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T [P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по горизонталі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 43,75 + 0,25x_1 - 3,25x_2 - 0,75x_3 + 0,25x_1x_2 + 1,25x_1x_3 + 2,75x_2x_3 + 0,75x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$Nc = 8,63 \cdot 10^{-5} ThQ - 1,87 \cdot 10^{-4} TQ - 0,18Th + 0,38T + 0,17 \cdot 10^{-2} hQ - 0,13 \cdot 10^{-1} Q - 11,8h + 95,55$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

## A.5

Умови трифакторного експерименту для щільності по вертикалі трикотажу переплетення гладь з параарамідних 58,8 та 58,8X2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.6.

Таблиця А.6.

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по вертикалі трикотажу переплетення гладь з параарамідних ниток  $N_p$

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	рпід					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	59	61	62	59	59	60	2
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	61	61	61	62	60	61	0,5

## Продовження таблиці А.6

3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	55	55	55	55	55	55	0
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	56	56	58	59	56	57	2
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	56	57	56	55	56	56	0,5
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	58	59	57	58	58	58	0,5
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	51	51	51	51	51	51	0
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	54	53	55	53	55	54	1
S																6,5

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.6.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,31$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,31 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 56,5$ ;  $b_1 = 1$ ;  $b_2 = -2,25$ ;  $b_3 = -1,75$ ;  $b_{12} = 0,25$ ;  $b_{13} = 0,25$ ;  $b_{23} = 0$ ;  $b_{123} = 0$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,1625.$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 8125.$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 0,02$ ;  $S\{b_i\} = 0,14$ ;  $t_R\{b_1\} = 7,02$ ;  $t_R\{b_2\} = 15,79$ ;  $t_R\{b_3\} = 12,28$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 1,754$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 1,754$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 0$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 0$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по вертикалі, лінійною густиною, зусиллям відтягуванням і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 56,5 + 1x_1 - 2,25x_2 - 1,75x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$Np = 0,037 - 0,3 \cdot 10^{-2} - 4,5h + 73,66$$

**А.6**

Умови трифакторного експерименту для довжини нитки в петлі трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток 58,8 та 58,8Х2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.7.

Таблиця А.7

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників довжини нитки петлі трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток  $\ell$ , мм

U	Фактори				$V_{\text{ном.ср}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РПД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	11,94	12,08	12,11	11,87	12	12	0,00975
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	12,22	12,31	12,15	12,38	12,19	12,25	0,00875
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	14,42	14,52	14,54	14,52	14,5	14,5	0,0022
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	14,01	14,11	13,98	13,88	14,02	14	0,00685
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	13,17	13,28	12,95	12,95	13,15	13,1	0,0212
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	12,85	12,72	12,69	12,72	12,77	12,75	0,00395
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	13,67	13,66	13,59	13,66	13,67	13,65	0,00115
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	14,76	14,69	14,73	14,83	14,74	14,75	0,00265
S																0,0565

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.7.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,375$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,375 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 13,375$ ;  $b_1 = 0,0625$ ;  $b_2 = 0,85$ ;  $b_3 = 0,1875$ ;  $b_{12} = 0,0875$ ;  $b_{13} = 0,125$ ;  $b_{23} = -0,2125$ ;  $b_{123} = 0,275$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,0014$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,007$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,0002; S\{b_i\} = 0,0133; t_R\{b_1\} = 4,704; t_R\{b_2\} = 63,969; t_R\{b_3\} = 14,111; t_R\{b_{12}\} = 6,585; t_R\{b_{13}\} = 9,407; t_R\{b_{23}\} = 15,992; t_R\{b_{123}\} = 20,695.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.



Отже, взаємозв'язок між довжиною нитки в петлі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 13,37 + 0,06x_1 + 0,85x_2 + 0,82x_3 + 0,09x_1x_2 + 0,12x_1x_3 - 0,21x_2x_3 + 0,28x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$l = -15,72 + 9,07h + 0,01Q + 0,18T - 8,77 \cdot 10^{-5}TQ - 0,35 \cdot 10^{-2}hQ - 0,06Th + 3,16 \cdot 10^{-5}ThQ$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

### A.7

Умови трифакторного експерименту для поверхневої густини трикотажу  $ms$  переплетення ластик з параарамідних ниток 58,8 та 58,8Х2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1 (Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.8.

Таблиця А.8

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників поверхневої густини трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток  $ms$ ,  $г/м^2$

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>ув</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РПД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	344	345	337	347	340	342,6	16,3
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	672	673	665	680	678	673,6	34,3
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	320	318	324	319	324	321	8
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	605	607	617	609	614	610,4	24,8
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	315	310	309	313	316	312,6	9,3
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	630	625	622	624	630	626,2	13,2
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	316	307	315	310	300	309,6	42,3
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	591	594	589	593	595	592,4	5,8
S																154

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.8.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,275$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,275 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 473,55$ ;  $b_1 = 152,1$ ;  $b_2 = -15,2$ ;  $b_3 = -13,35$ ;  $b_{12} = -9,05$ ;  $b_{13} = -3$ ;  $b_{23} = 6$ ;  $b_{123} = 1,35$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 3,85$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 19,25$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_1\} = 0,481; S\{b_1\} = 0,694; t_R\{b_1\} = 219,252; t_R\{b_2\} = 21,911; \\ t_R\{b_3\} = 19,244; t_R\{b_{12}\} = 13,045; t_R\{b_{13}\} = 4,3245; t_R\{b_{23}\} = 8,649; t_R\{b_{123}\} = 1,946.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між поверхневою густиною, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 473,55 + 152,1x_1 - 15,2x_2 - 13,35x_3 - 9,05x_1x_2 - 3x_1x_3 + 6x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$ms = 0,02hQ - 0,62Th - 21,78h - 0,17 \cdot 10^{-3}TQ - 0,07Q + 7,41T + 99,13$$

## A.8

Умови трифакторного експерименту для товщини трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток 58,8 та 58,8X2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.9.

Таблиця А.9

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників товщини трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток  
 $M$ , мм

U	Фактори				$V_{\text{ном.ср}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	1,55	1,6	1,61	1,55	1,6	1,582	0,00087
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	2,18	2,2	2,19	2,2	2,18	2,19	0,0001
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	1,618	1,62	1,586	1,616	1,61	1,61	0,000194
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	2,286	2,359	2,451	2,365	2,362	2,3646	0,00342
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	1,1	1,08	1,11	1,12	1,09	1,1	0,00025
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	2,06	2,09	2,07	2,1	2,03	2,07	0,00075
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	1,428	1,42	1,47	1,57	1,467	1,471	0,003567
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	2,27	2,26	2,24	2,25	2,28	2,26	0,00025
S																0,009401

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.9.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,38$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\delta}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,38 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 1,831$ ;  $b_1 = 0,39$ ;  $b_2 = 0,095$ ;  $b_3 = -0,106$ ;  $b_{12} = -0,004$ ;  $b_{13} = 0,0495$ ;  $b_{23} = 0,045$ ;  $b_{123} = -0,041$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2 \{ \bar{Y} \} = 0,0002$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{ Y \} = 0,001$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 2,93791 \cdot 10^{-05}$ ;  $S\{b_i\} = 0,005$ ;  $t_R\{b_1\} = 71,989$ ;  $t_R\{b_2\} = 17,61$ ;  $t_R\{b_3\} = 19,5$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 0,793$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 9,142$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 8,265$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 7,555$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T [P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між товщиною трикотажу, лінійною густиною, зусиллям відтягування, та глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 1,83 + 0,39x_1 + 0,095x_2 - 0,11x_3 + 0,05x_1x_3 + 0,04x_2x_3 - 0,04x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$M = -4,71 \cdot 10^{-6} ThQ + 1,7 \cdot 10^{-5} TQ + 0,01Th - 0,25 \cdot 10^{-1} T + 5,67 \cdot 10^{-4} hQ - 0,21 \cdot 10^{-2} Q - 1,08h + 4,88$$

## А.9

Умови трифакторного експерименту для щільності по горизонталі трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток 58,8 та 58,8Х2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.10.

Таблиця А.10

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по горизонталі трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток,  $N_c$

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>ув</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РПД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	42	42	42	43	41	42	0,5

## Продовження таблиці А.10

2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	41	42	41	40	41	41	0,5
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	50	51	48	51	50	50	1,5
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	34	35	35	33	33	34	1
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	37	35	36	37	35	36	1
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	39	40	41	41	39	40	1
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	35	35	33	33	34	34	<b>1</b>
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	33	31	33	31	32	32	1
S																7,5

Розраховуємо дисперсію  $S^2_{u\{Y\}}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.10.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,13$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha=0.95}; f\{S_u^2\} = m-1 = 5-1 = 4; N=8] = 0,3910$$

Так як  $G_R = 0,13 < G_T = 0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 38,625$ ;  $b_1 = -1,875$ ;  $b_2 = -1,125$ ;  $b_3 = -3,125$ ;  $b_{12} = -2,625$ ;  $b_{13} = 2,375$ ;  $b_{23} = -1,375$ ;  $b_{123} = 1,125$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,1875$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,9375$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо } S^2\{b_i\} &= 0,0234; S\{b_i\} = 0,153; t_R\{b_1\} = 12,247; t_R\{b_2\} = 7,348; \\ t_R\{b_3\} &= 20,412; t_R\{b_{12}\} = 17,146; t_R\{b_{13}\} = 15,513; t_R\{b_{23}\} = 8,981; t_R\{b_{123}\} = 7,348. \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha=0,95}; f=8(5-1)=32] = 2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по горизонталі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 38,63 - 1,88x_1 - 1,13x_2 - 3,13x_3 - 2,63x_1x_2 + 2,38x_1x_3 - 1,38x_2x_3 + 1,13x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$Nc = 1,29 \cdot 10^{-4} \cdot ThQ - 2,52 \cdot 10^{-4} \cdot TQ - 0,47Th + 1,04T - 0,16 \cdot 10^{-1} hQ + 0,03Q + 49,66h - 65,71$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

**А.10**

Умови трифакторного експерименту для щільності по вертикалі трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток переплетення ластик

58,8 та 58,8X2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.11

Таблиця А.11

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по вертикалі трикотажу переплетення ластик з параарамідних ниток,  $Np$

U	Фактори				$V_{\text{ном.сеп}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	62	61	63	62	62	62	0,5
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	80	80	81	79	80	80	0,5
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	65	65	63	63	64	64	1
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	74	76	77	76	77	76	1,5
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	65	62	63	63	62	63	1,5
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	75	74	76	75	75	75	0,5
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	58	60	59	59	59	59	0,5
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	78	79	77	79	77	78	1
S																7

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.11.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,21$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,21 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 69,625$ ;  $b_1 = 7,625$ ;  $b_2 = -0,375$ ;  $b_3 = -0,875$ ;  $b_{12} = 0,125$ ;  $b_{13} = 0,125$ ;  $b_{23} = 0,125$ ;  $b_{123} = 1,625$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,175$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,875$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо } S^2\{b_i\} &= 0,022; S\{b_i\} = 0,148; t_R\{b_1\} = 51,554; t_R\{b_2\} = 2,535; \\ t_R\{b_3\} &= 5,916; t_R\{b_{12}\} = 0,845; t_R\{b_{13}\} = 0,845; t_R\{b_{23}\} = 0,845; t_R\{b_{123}\} = 10,987. \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$



Розраховуємо дисперсію  $S_u^2\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.13.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,19$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,19 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 8,276$ ;  $b_1 = 0,049$ ;  $b_2 = 0,0885$ ;  $b_3 = 0,2615$ ;  $b_{12} = -0,0385$ ;  $b_{13} = 0,0885$ ;  $b_{23} = -0,101$ ;  $b_{123} = 0,126$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,000484$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,002421$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 6,05313 \cdot 10^{-05}$ ;  $S\{b_i\} = 0,00778$ ;  $t_R\{b_1\} = 6,3$ ;  $t_R\{b_2\} = 11,375$ ;  $t_R\{b_3\} = 33,61$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 4,95$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 1,375$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 13$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 16,19$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між довжиною нитки в петлі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 8,28 + 0,05x_1 + 0,09x_2 + 0,26x_3 - 0,04x_1x_2 + 0,09x_1x_3 - 0,10x_2x_3 + 0,13x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$l = -1,2 + 3,0h + 0,37 \cdot 10^{-2}Q + 0,06T - 0,02Th - 0,12 \cdot 10^{-2}hQ - 2,56 \cdot 10^{-5}TQ + 9,68 \cdot 10^{-6}ThQ$$

## А.12

Умови трифакторного експерименту для поверхневої густини трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток 44 та 44Х3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.14.

Таблиця А.14

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників поверхневої густини трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток  $m_s$ , г/м<sup>2</sup>

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>ув</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РПД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	123,9	124,6	124,4	126,7	125	124,92	1,147
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	318,1	318,4	319,06	320	317,5	318,61	0,918
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	117,59	117,2	118	119,1	116,1	117,6	1,205
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	291,9	292,9	292,9	291,9	290,95	292,11	0,67
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	134,08	135,1	133,3	135	133	134,1	0,915
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	327,1	328	326,5	327,4	328	327,4	0,405
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	163,9	164,01	164,9	165,02	163,1	164,19	0,624
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	322,1	324,5	324,1	325,2	322,1	323,6	2,03
S																7,915

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.14.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідях матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,26$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,26 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 225,31525$ ;  $b_1 = 90,11525$ ;  $b_2 = -0,94175$ ;  $b_3 = 12,00525$ ;  $b_{12} = -6,63375$ ;  $b_{13} = -1,93575$ ;  $b_{23} = 7,51425$ ;  $b_{123} = -1,83875$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,1978675$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,9893375$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,0245; S\{b_i\} = 0,157; t_R\{b_1\} = 573; t_R\{b_2\} = 5,988; \\ t_R\{b_3\} = 76,336; t_R\{b_{12}\} = 42,181; t_R\{b_{13}\} = 12,3085; t_R\{b_{23}\} = 47,78; t_R\{b_{123}\} = \\ 11,692. \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.



Отже, взаємозв'язок між поверхневою густиною, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 225,31 + 90,11x_1 - 0,94x_2 + 12x_3 - 6,63x_1x_2 - 1,93x_1x_3 + 7,51x_2x_3 - 1,84x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$ms = 166,29 + 2,17T - 60,54h - 0,09Q + 0,35 \cdot 10^{-3}TQ + 0,02Th + 0,04hQ - 0,14 \cdot 10^{-3}ThQ$$

### A.13

Умови трифакторного експерименту для товщини трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток 44 та 44Х3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах (m=5) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.15.

Таблиця А.15

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників товщини трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток

$M$ , мм

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РПД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	0,54	0,53	0,54	0,53	0,54	0,536	3·10 <sup>-05</sup>
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	1,15	1,14	1,14	1,13	1,14	1,14	5·10 <sup>-05</sup>
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	0,52	0,51	0,53	0,52	0,52	0,52	5·10 <sup>-05</sup>
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	0,92	0,93	0,92	0,92	0,93	0,924	3·10 <sup>-05</sup>
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	0,54	0,55	0,54	0,55	0,54	0,544	3·10 <sup>-05</sup>
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	1,18	1,17	1,18	1,19	1,18	1,18	5·10 <sup>-05</sup>
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,51	0,52	0,52	0,51	0,52	0,516	3·10 <sup>-05</sup>
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	1	1	1	1	1	1	0
S																0,00027

Розраховуємо дисперсію S<sup>2</sup><sub>u</sub>{Y} за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.15.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,185$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha=0.95}; f\{S_u^2\} = m-1=5-1=4; N=8] = 0,3910$$

Так як  $G_R = 0,185 < G_T = 0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 0,795$ ;  $b_1 = 0,266$ ;  $b_2 = -0,055$ ;  $b_3 = 0,015$ ;  $b_{12} = -0,044$ ;  $b_{13} = 0,014$ ;  $b_{23} = 0,003$ ;  $b_{123} = 0,006$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 6,75 \cdot 10^{-06}$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 3,375 \cdot 10^{-05}$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 8,4375 \cdot 10^{-07}$ ;  $S\{b_i\} = 0,001$ ;  $t_R\{b_1\} = 289,584$ ;  $t_R\{b_2\} = 59,876$ ;  $t_R\{b_3\} = 16,33$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 47,901$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 15,241$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 3,266$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 6,532$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між товщиною трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток, лінійною густиною, зусиллям і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 0,79 + 0,27x_1 - 0,05x_2 + 0,15 \cdot 10^{-1}x_3 - 0,04x_1x_2 + 0,14 \cdot 10^{-1}x_1x_3 + 0,3 \cdot 10^{-2}x_2x_3 + 0,6 \cdot 10^{-2}x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$M = 4,61 \cdot 10^{-7} \cdot ThQ - 8,45 \cdot 10^{-7} TQ - 0,3 \cdot 10^{-2} Th + 0,13 \cdot 10^{-1} T - 3,04 \cdot 10^{-5} hQ + 6,93 \cdot 10^{-5} Q + 0,13h - 0,09$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

#### А.14

Умови трифакторного експерименту для щільності по вертикалі трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток 44 текс та 44Х3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.16.

Таблиця А.16.

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по горизонталі трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток,  $N_c$

U	Фактори				$V_{ном.сер}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	75	74	73	73	75	74	1
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	51	50	50	52	52	51	1
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	72	73	72	72	71	72	0,5
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	52	51	51	52	54	52	1,5
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	75	74	76	75	75	75	0,5
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	53	54	55	54	54	54	0,5
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	80	79	81	81	79	80	1
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	54	52	52	53	54	53	1
S																7

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.16.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,07$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,07 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 63,875$ ;  $b_1 = -11,375$ ;  $b_2 = 0,375$ ;  $b_3 = 1,625$ ;  $b_{12} = -0,375$ ;  $b_{13} = -0,625$ ;  $b_{23} = 0,625$ ;  $b_{123} = -1,125$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,175$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,875$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 0,0219$ ;  $S\{b_i\} = 0,148$ ;  $t_R\{b_1\} = -76,909$ ;  $t_R\{b_2\} = -2,535$ ;  $t_R\{b_3\} = -10,987$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 2,535$ ;  $t_R\{b_{13}\} = -4,226$ ;  $t_R\{b_{23}\} = -4,226$ ;  $t_R\{b_{123}\} = -7,61$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по горизонталі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 63,87 - 11,37x_1 + 0,37x_2 + 1,62x_3 - 0,37x_1x_2 - 0,625x_1x_3 + 0,62x_2x_3 - 1,12x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$Nc = -8,64 \cdot 10^{-5} \cdot ThQ + 2,35 \cdot 10^{-4} TQ + 0,18Th - 0,74T + 0,9 \cdot 10^{-2} hQ - 0,24 \cdot 10^{-1} Q - 19,64h + 134,59$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

## A.15

Умови трифакторного експерименту для щільності по вертикалі трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток 44 та 44Х3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.17.

Таблиця А.17

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по вертикалі трикотажу переплетення гладь з поліетиленових ниток,  $Np$

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	40	41	39	42	38	40	2,5
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	54	53	54	55	54	54	0,5

## Продовження таблиці А.17

3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	35	34	35	36	35	35	0,5
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	51	50	52	51	51	51	0,5
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	38	40	38	40	39	39	1
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	49	48	47	47	49	48	1
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	33	33	33	34	32	33	0,5
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	43	45	45	45	47	45	2
S																8,5

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.17.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідях матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,29$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,29 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 43,125$ ;  $b_1 = 6,375$ ;  $b_2 = -2,125$ ;  $b_3 = -1,875$ ;  $b_{12} = 0,625$ ;  $b_{13} = -1,125$ ;  $b_{23} = -0,125$ ;  $b_{123} = 0,125$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,2125$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 1,0625$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,0266; S\{b_i\} = 0,163; t_R\{b_1\} = 39,115; t_R\{b_2\} = 13,038; \\ t_R\{b_3\} = 11,504; t_R\{b_{12}\} = 3,835; t_R\{b_{13}\} = 6,903; t_R\{b_{23}\} = 0,767; t_R\{b_{123}\} = 0,767.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по вертикалі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 43,12 + 6,37x_1 - 2,12x_2 - 1,87x_3 + 0,62x_1x_2 - 1,12x_1x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$Np = -4,32 \cdot 10^{-5} TQ + 0,03Th + 0,16T + 6,34 \cdot 10^{-4} Q - 6,75h + 49,2$$

**А.16**

Умови трифакторного експерименту для довжини нитки в петлі густини трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток 44 та 44Х3 текс

відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.18.

Таблиця А.18

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних довжини нитки в петлі трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток  $\ell$ , мм

U	Фактори				$V_{\text{ном.сер}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	12,61	12,58	12,55	12,79	12,74	12,654	0,01103
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	12,8	12,74	12,9	12,9	12,71	12,81	0,0078
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	13,95	14,12	13,84	13,94	13,91	13,952	0,01067
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	13,13	13,21	13,09	13,12	13,1	13,13	0,00225
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	14,28	14,37	14,29	14,22	14,34	14,3	0,00335
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	14,45	14,44	14,52	14,45	14,26	14,424	0,00943
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	13,42	13,4	13,5	13,4	13,41	13,426	0,00178
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	14,62	14,58	14,75	14,64	14,41	14,6	0,01525
S																0,06156

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.18.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,25$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,25 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 13,662$ ;  $b_1 = 0,079$ ;  $b_2 = 0,115$ ;  $b_3 = 0,5255$ ;  $b_{12} = 0,009$ ;  $b_{13} = 0,2455$ ;  $b_{23} = -0,2895$ ;  $b_{123} = 0,2535$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,0015$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,0077$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,00019; S\{b_i\} = 0,0139; t_R\{b_1\} = 5,696; t_R\{b_2\} = 8,291; \\ t_R\{b_3\} = 37,888; t_R\{b_{12}\} = 0,649; t_R\{b_{13}\} = 17,7; t_R\{b_{23}\} = 20,872; t_R\{b_{123}\} = 18,277.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між довжиною нитки в петлі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 13,66 + 0,08x_1 + 0,11x_2 + 0,53x_3 + 0,24x_1x_3 - 0,29x_2x_3 + 0,25x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$l = -5,5 + 0,11T + 0,8 \cdot 10^{-2}Q + 6,29h - 4,9 \cdot 10^{-5}TQ - 0,27 \cdot 10^{-2}hQ - 0,04Th + 1,95 \cdot 10^{-5}ThQ$$

### A.17

Умови трифакторного експерименту для поверхневої густини трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток 44 та 44X3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.19.

Таблиця А.19

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників поверхневої густини трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток  $ms$ ,  $г/м^2$

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	233	220	218	224	231	225,2	43,7
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	567	581	576	572	588	576,8	65,7
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	210	214	215	223	214	215,2	22,7
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	570	561	558	561	563	562,6	20,3
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	217	219	216	221	214	217,4	7,3
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	572	571	588	567	573	574,2	64,7
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	205	204	212	207	211	207,8	12,7
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	531	527	535	533	526	530,4	14,8
S																251,9

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.19.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,26$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,26 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 388,7$ ;  $b_1 = 172,3$ ;  $b_2 = -9,7$ ;  $b_3 = -6,25$ ;  $b_{12} = -4,8$ ;  $b_{13} = -2,45$ ;  $b_{23} = -3,65$ ;  $b_{123} = -3,75$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 6,2975$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 31,4875$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,787; S\{b_i\} = 0,887; t_R\{b_1\} = 194,199; t_R\{b_2\} = 10,933; \\ t_R\{b_3\} = 7,044; t_R\{b_{12}\} = 5,41; t_R\{b_{13}\} = 2,761; t_R\{b_{23}\} = 4,114; t_R\{b_{123}\} = 4,227.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між поверхневою густиною, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 338,7 + 172,3x_1 - 9,7x_2 - 6,25x_3 - 4,8x_1x_2 - 2,45x_1x_3 - 3,65x_2x_3 - 3,75x_1x_2x_3$$

Одержана модель у кодованому масштабі переводиться у натуральний:

$$ms = -0,28 \cdot 10^{-3}ThQ + 0,01hQ + 0,43Th + 0,77 \cdot 10^{-3}TQ - 29,5h - 0,04Q + 2,84T + 137,76$$

Модель адекватна, тому перевірка за критерієм Фішера не виконується.

## A.18

Умови трифакторного експерименту для товщини трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток 44 та 44X3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.20.

Таблиця А.20

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників товщини трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток  
 $M$ , мм

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>ув</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	1,07	1,06	1,07	1,08	1,07	1,07	4,66·10 <sup>-05</sup>
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	1,88	1,76	1,83	1,68	1,91	1,81	0,0087455
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	1,09	1,00	1,08	1,12	1,20	1,10	0,00522
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	1,84	1,90	1,90	1,87	1,70	1,84	0,0069188
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,58·10 <sup>-05</sup>
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	1,76	1,80	1,74	1,75	1,74	1,76	0,0007375
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,91	0,90	0,97	0,91	0,87	0,91	0,001317
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	1,85	1,90	1,81	1,82	1,92	1,86	0,0023075
S																0,0253087

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.20.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,345$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\partial}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,345 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 1,425$ ;  $b_1 = 0,392$ ;  $b_2 = 0,003$ ;  $b_3 = -0,03$ ;  $b_{12} = 0,03$ ;  $b_{13} = 0,0195$ ;  $b_{23} = -0,0125$ ;  $b_{123} = 0,03$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2 \{ \bar{Y} \} = 0,0006$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{ Y \} = 0,003$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2 \{ b_i \}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2 \{ b_i \} = 7,90897 \cdot 10^{-05}$ ;  $S \{ b_i \} = 0,0089$ ;  $t_R \{ b_1 \} = 44,095$ ;  $t_R \{ b_2 \} = 0,354$ ;  $t_R \{ b_3 \} = 3,362$ ;  $t_R \{ b_{12} \} = 3,401$ ;  $t_R \{ b_{13} \} = 2,193$ ;  $t_R \{ b_{23} \} = 1,405$ ;  $t_R \{ b_{123} \} = 3,44$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T [P_{\partial}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між товщиною трикотажу переплетення гладь, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 1,42 + 0,39x_1 - 0,03x_3 + 0,03x_1x_2 + 0,02x_1x_3 + 0,03x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$M = 2,35 \cdot 10^{-6}ThQ - 6,3 \cdot 10^{-6}TQ - 0,39 \cdot 10^{-2}Th + 0,19 \cdot 10^{-1}T - 2,07 \cdot 10^{-4}hQ + 5,04 \cdot 10^{-4}Q + 0,34h - 0,13$$

### A.19

Умови трифакторного експерименту для щільності по вертикалі трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток 44 текс та 44X3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.21.

Таблиця А.21.

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по горизонталі трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток,  $N_c$

U	Фактори				$V_{\text{ном.сер}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	75	76	74	75	75	75	0,5



## Продовження таблиці А.21

2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	50	51	48	49	52	50	2,5
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	71	68	69	70	72	70	2,5
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	46	46	46	47	45	46	0,5
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	65	65	64	66	65	65	0,5
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	46	45	44	43	47	45	2,5
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	65	65	64	66	65	65	0,5
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	43	43	42	45	42	43	1,5
S																11

Розраховуємо дисперсію  $S^2_{u\{Y\}}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.21.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,23$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,23 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 57,375$ ;  $b_1 = -11,375$ ;  $b_2 = -1,375$ ;  $b_3 = -2,875$ ;  $b_{12} = -0,125$ ;  $b_{13} = 0,875$ ;  $b_{23} = 0,875$ ;  $b_{123} = -0,375$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,275$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 1,375$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо } S^2\{b_i\} &= 0,034; S\{b_i\} = 0,185; t_R\{b_1\} = 61,352; t_R\{b_2\} = 7,416; \\ t_R\{b_3\} &= 15,056; t_R\{b_{12}\} = 0,674; t_R\{b_{13}\} = 4,719; t_R\{b_{23}\} = 4,719; t_R\{b_{123}\} = 2,022. \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по вертикалі, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_i = 57,37 - 11,38x_1 - 1,37x_2 - 2,87x_3 + 0,87x_1x_3 + 0,87x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$Nc = 3,36 \cdot 10^{-5} TQ - 0,33T + 0,3 \cdot 10^{-2} hQ - 0,02Q - 9,41h + 125,96$$

**А.20**

Умови трифакторного експерименту для щільності по вертикалі трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток 44 та 44Х3 текс

відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.22.

Таблиця А.22

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників щільності по вертикалі трикутажу переплетення ластик з поліетиленових ниток,  $Np$

U	Фактори				$V_{\text{ном.сеп}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РПД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	44	44	45	44	43	44	0,5
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	67	65	66	66	66	66	0,5
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	40	41	41	41	42	41	0,5
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	60	61	59	61	59	60	1
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	44	43	44	45	44	44	0,5
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	67	66	63	64	65	65	2,5
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	35	35	36	34	35	35	0,5
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	57	58	56	55	54	56	2,5
S																8,5

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.22.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,3$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,3 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 51,375$ ;  $b_1 = 10,375$ ;  $b_2 = -3,375$ ;  $b_3 = -1,375$ ;  $b_{12} = -0,375$ ;  $b_{13} = 0,125$ ;  $b_{23} = -1,125$ ;  $b_{123} = 0,375$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,2125$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 1,0625$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,0265; S\{b_i\} = 0,163; t_R\{b_1\} = 63,658; t_R\{b_2\} = 20,708; \\ t_R\{b_3\} = 8,437; t_R\{b_{12}\} = 2,3; t_R\{b_{13}\} = 0,767; t_R\{b_{23}\} = 6,903; t_R\{b_{123}\} = 2,3.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між щільністю по вертикалі, лінійною густиною, зусиллям відтягуванням і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 51,37 + 10,37x_1 - 3,37x_2 - 1,37x_3 - 0,37x_1x_2 - 1,12x_2x_3 + 0,37x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$Np = 2,88 \cdot 10^{-5}ThQ - 1,0 \cdot 10^{-4}TQ - 0,06Th + 0,46T - 0,63 \cdot 10^{-2}hQ + 0,18 \cdot 10^{-1}Q + 7,52h + 10,43$$

## A.21

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на параарамідну нитку 58,8 та 58,8X2 текс з трикотажу переплетення гладь відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.23.

Таблиця А.23

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників розривального навантаження на параарамідну нитку після в'язання  $P$ , кгс

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РПД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	8,31	8,18	8,16	8,19	7,85	8,138	0,02937
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	15,7	16,05	15,49	15,79	15,57	15,72	0,0474
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	9,19	8,99	8,89	8,95	8,87	8,978	0,01632
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	17,06	17,27	17,14	17,07	17,38	17,184	0,01903
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	7,35	7,55	7,58	7,4	7,45	7,466	0,00953
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	14,16	14,35	14,58	14,45	14,35	14,378	0,02377
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	7,89	8,09	7,84	7,9	8,1	7,964	0,01483
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	16,08	15,56	16,09	15,75	16,01	15,898	0,05467
S																0,21492

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.23.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,254$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha=0.95}; f\{S_u^2\} = m-1 = 5-1 = 4; N=8] = 0,3910$$

Так як  $G_R = 0,254 < G_T = 0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 11,96575$ ;  $b_1 = 3,82925$ ;  $b_2 = 0,54025$ ;  $b_3 = -0,53925$ ;  $b_{12} = 0,20575$ ;  $b_{13} = -0,11775$ ;  $b_{23} = -0,03575$ ;  $b_{123} = 0,04975$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,026865$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 0,005373$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} &\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,000672; S\{b_i\} = 0,025916; t_R\{b_1\} = 147,75776; t_R\{b_2\} \\ &= 20,846414; t_R\{b_3\} = 20,807827; t_R\{b_{12}\} = 7,939194; t_R\{b_{13}\} = 4,5435728; t_R\{b_{23}\} = \\ &1,3794711; t_R\{b_{123}\} = 1,9196836 \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_d=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_R = 11,97 + 3,83x_1 + 0,54x_2 - 0,54x_3 + 0,21x_1x_2 - 0,12x_1x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P = 1,65 + 1,03 \cdot 10^{-1}T - 0,15h - 3,15 \cdot 10^{-4}Q + 1,4 \cdot 10^{-2}Th - 6,77 \cdot 10^{-6}TQ$$

## A.22

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на одиницю лінійної густини параарамідної нитки з полотна переплетення гладь відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.24.

Таблиця А.24

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників питомого розривального навантаження на параарамідну нитку з полотен переплетення гладь  $P_{num}$ , кгс/ текс

U	Фактори				$V_{ном.сер}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	0,141	0,139	0,139	0,139	0,134	0,138	$8,49 \cdot 10^{-6}$
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	0,134	0,136	0,132	0,134	0,132	0,134	$3,43 \cdot 10^{-6}$
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	0,156	0,153	0,151	0,152	0,151	0,153	$4,72 \cdot 10^{-6}$
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	0,145	0,147	0,146	0,145	0,148	0,146	$1,38 \cdot 10^{-6}$
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	0,125	0,128	0,129	0,126	0,127	0,127	$2,76 \cdot 10^{-6}$
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	0,120	0,122	0,124	0,123	0,122	0,122	$1,72 \cdot 10^{-6}$
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,134	0,138	0,133	0,134	0,138	0,135	$4,29 \cdot 10^{-6}$
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	0,137	0,132	0,137	0,134	0,136	0,135	$3,95 \cdot 10^{-6}$
S																$3,07 \cdot 10^{-6}$

Розраховуємо дисперсію  $S_u^2\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.24.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідях матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,28$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_\delta=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,28 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 0,136$ ;  $b_1 = -0,002$ ;  $b_2 = 0,006$ ;  $b_3 = -0,006$ ;  $b_{12} = 0,0003$ ;  $b_{13} = 0,0007$ ;  $b_{23} = -0,0007$ ;  $b_{123} = 0,0007$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 7,684 \cdot 10^{-07}$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 3,842 \cdot 10^{-6}$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо } S^2\{b_i\} &= 9,60497 \cdot 10^{-08}; S\{b_i\} = 0,000309919; t_R\{b_1\} = 6,557; \\ t_R\{b_2\} &= 19,412; t_R\{b_3\} = 20,578; t_R\{b_{12}\} = 1,056; t_R\{b_{13}\} = 2,552; t_R\{b_{23}\} = 2,154; \\ t_R\{b_{123}\} &= 2,538. \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між питомим розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_R = 0,14 - 2 \cdot 10^{-3}x_1 + 6 \cdot 10^{-3}x_2 - 6,4 \cdot 10^{-3}x_3 + 7,9 \cdot 2 \cdot 10^{-4}x_1x_3 - 6,7 \cdot 10^{-4}x_2x_3 + 7,9 \cdot 10^{-4}x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P_{\text{min}} = 0,07 + 1,59 \cdot 10^{-5}Q + 0,04h + 4,4 \cdot 10^{-4}T - 1,02 \cdot 10^{-5}hQ - 2 \cdot 10^{-4}Th - 2,26 \cdot 10^{-7}TQ + 9,05 \cdot 10^{-8}ThQ$$

### А.23

Умови трифакторного експерименту для втрати міцності параарамідної нитки з полотна переплетення гладь 58,8 та 58,8X2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А).

Виходячи з таблиці А.23 та міцності нитки до в'язання, що становить  $P_0=10,03$  кгс для нитки 58,8 текс та  $P_0=18$  кгс для нитки 58,8X2 текс отримуємо втрату міцності нитки  $P_v$  (%) та вносимо у таблицю А.25.

$$P_v = 100 - \left(\frac{P}{P_0} \cdot 100\right), \% \quad (\text{А.13})$$

де  $P_0$  – розривальне навантаження на нитку до в’язання, кгс;

$P$  – розривальне навантаження на нитку відповідно до матриці у таблиці

A.23.

Таблиця A.25

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників втрати міцності  $P_B, \%$

U	Фактори				$V_{ном.сер}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	17,15	18,44	18,64	18,34	21,73	18,86	2,92
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	12,78	10,83	13,94	12,28	13,5	12,67	1,5
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	8,37	10,37	11,37	10,77	11,56	10,49	1,62
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	5,22	4,05	4,78	5,17	3,44	4,53	0,59
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	26,72	24,73	24,43	26,22	25,72	25,56	0,95
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	21,33	20,28	19	19,72	20,28	20,12	0,73
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	21,34	19,34	21,83	21,24	19,24	20,6	1,47
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	10,67	13,56	10,61	12,5	11,05	11,3	1,62
S																11,37

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою A.1 та вносимо у таблицю A.25.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідях матриці з допомогою критерії Кочрена (формула A.2):

$$G_R = 0,255$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_0 = 0,95; f\{S_u^2\} = m - 1 = 5 - 1 = 4; N = 8] = 0,3910$$

Так як  $G_R = 0,255 < G_T = 0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами A.3, A.5, A.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 15,56$ ;  $b_1 = -3,31$ ;  $b_2 = -3,74$ ;  $b_3 = 3,93$ ;  $b_{12} = -0,4$ ;  $b_{13} = -0,276$ ;  $b_{23} = 0,39$ ;  $b_{123} = -0,465$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою A.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,286$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою A.9:

$$S^2\{Y\} = 1,43$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст’юдента визначаємо за формулою A.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,036; S\{b_i\} = 0,189; t_R\{b_1\} = 17,53; t_R\{b_2\} = 19,78; \\ t_R\{b_3\} = 20,77; t_R\{b_{12}\} = 2,14; t_R\{b_{13}\} = 1,46; t_R\{b_{23}\} = 2,049; t_R\{b_{123}\} = 2,46.$$

Табличне значення критерія Ст’юдента:

$$t_T[P_D = 0,95; f = 8(5 - 1) = 32] = 2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв’язок між втратою міцності, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_R = 15,56 - 3,31x_1 - 3,74x_2 + 3,39x_3 - 0,4x_1x_2 + 0,39x_2x_3 - 0,46x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$B_{\text{лиц}} = 66,47 - 0,39T - 18,65h - 0,01Q + 0,93 \cdot 10^{-1}Th - 0,53 \cdot 10^{-4}ThQ + 0,6 \cdot 10^{-2}hQ + 0,16 \cdot 10^{-3}TQ$$

## A.24

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на параарамідну нитку 58,8 та 58,8X2 текс з трикотажу переплетення ластик відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах (m=5) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.26.

Таблиця А.26

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників розривального навантаження на параарамідну нитку після в'язання  $P$ , кгс

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>ув</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	рпід					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	7,91	9,12	7,5	6,66	8,15	7,868	0,81087
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	15,13	15,3	15,31	15,24	15	15,196	0,01713
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	9,27	7,82	9,01	7,28	7,36	8,148	0,87097
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	16	16,5	16,4	16,7	16,3	16,38	0,067
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	6,2	7,01	6,73	7,87	9,09	7,38	1,279
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	14,03	15,41	14,65	14,59	14,22	14,58	0,2815
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	7,6	7,7	7	7,6	7,4	7,46	0,078
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	15	15,21	15,98	15,25	15,1	15,308	0,15067
S																3,5514

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.26.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,36$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,36 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 11,54$ ;  $b_1 = 3,826$ ;  $b_2 = 0,284$ ;  $b_3 = -0,358$ ;  $b_{12} = 0,194$ ;  $b_{13} = -0,064$ ;  $b_{23} = -0,082$ ;  $b_{123} = 0,032$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,089$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,444$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,011; S\{b_i\} = 0,105; t_R\{b_1\} = 36,29; t_R\{b_2\} = 2,69; \\ t_R\{b_3\} = 3,39; t_R\{b_{12}\} = 1,84; t_R\{b_{13}\} = 0,61; t_R\{b_{23}\} = 0,78; t_R\{b_{123}\} = 0,3.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_R = 11,54 + 3,83x_1 + 0,28x_2 - 0,36x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P = 0,57h - 0,6 \cdot 10^{-3}Q + 0,13T - 0,28$$

## A.25

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на одиницю лінійної густини параарамідної нитки з полотна переплетення ластик відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А.1).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.27.

Таблиця А.27

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників питомого розривального навантаження на параарамідну нитку з полотен переплетення ластик  $P_{num}$ , кгс/ текс

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	0,135	0,138	0,128	0,131	0,138	0,134	2,03·10 <sup>-05</sup>
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	0,129	0,130	0,130	0,130	0,128	0,129	1,24·10 <sup>-06</sup>
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	0,139	0,139	0,152	0,134	0,129	0,139	7,47·10 <sup>-05</sup>
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	0,136	0,140	0,139	0,142	0,139	0,139	4,84·10 <sup>-06</sup>
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	0,121	0,120	0,118	0,134	0,134	0,126	6,22·10 <sup>-05</sup>
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	0,119	0,131	0,125	0,124	0,121	0,124	2,04·10 <sup>-05</sup>
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,128	0,128	0,125	0,128	0,126	0,127	1,68·10 <sup>-06</sup>
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	0,128	0,129	0,136	0,130	0,128	0,130	1,09·10 <sup>-05</sup>
S																0,000196

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.27.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,38$$

Табличне значення критерія Кочрена:



$$G_T = [P_{\delta}=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,38 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 0,131$ ;  $b_1 = -0,0003$ ;  $b_2 = 0,003$ ;  $b_3 = -0,004$ ;  $b_{12} = 0,001$ ;  $b_{13} = 0,0007$ ;  $b_{23} = -0,0009$ ;  $b_{123} = -5,90986 \cdot 10^{-05}$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2 \{\bar{Y}\} = 4,904 \cdot 10^{-06}$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 2,452 \cdot 10^{-05}$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 6,12963 \cdot 10^{-07}$ ;  $S\{b_i\} = 0,0008$ ;  $t_R\{b_1\} = 0,337$ ;  $t_R\{b_2\} = 3,573$ ;  $t_R\{b_3\} = 5,484$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 1,619$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 0,9$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 1,163$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 0,075$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між питомим розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_R = -0,13 + 0,03x_2 - 4 \cdot 10^{-3}x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P_{num} = 0,13 + 5,6 \cdot 10^{-3}h - 7,26 \cdot 10^{-6}Q$$

## А.26

Умови трифакторного експерименту для втрати міцності параарамідної нитки з полотна переплетення ластик 58,8 та 58,8Х2 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.1(Додаток А).

Виходячи з таблиці А.26 та міцності нитки до в'язання, що становить  $P_o=10,03$  кгс для нитки 58,8 текс та  $P_o=18$  кгс для нитки 58,8Х2 отримуємо втрату міцності нитки  $P_v$  (%) та вносимо у таблицю А.28.

Таблиця А.28

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників втрати міцності  $P_v$ , %

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	21,14	18,84	24,33	24,73	18,74	21,56	8,29
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	15,94	15,00	14,94	15,33	16,67	15,58	0,53
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	17,55	14,46	15,65	21,54	24,63	18,76	17,94
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	11,11	8,33	8,89	7,22	9,44	9,00	2,07

## Продовження таблиці А.28

5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	30,11	29,31	31,21	22,13	19,34	26,42	28,34
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	22,06	14,39	18,61	18,94	21,00	19,00	8,69
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	24,23	23,23	30,21	24,23	26,22	25,62	7,75
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	16,67	15,50	11,22	15,28	16,11	14,96	4,65
S																78,26

Розраховуємо дисперсію  $S_u^2\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.28.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,36$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_0=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,36 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 18,862$ ;  $b_1 = -4,229$ ;  $b_2 = -1,776$ ;  $b_3 = 2,638$ ;  $b_{12} = -0,879$ ;  $b_{13} = -0,293$ ;  $b_{23} = 0,566$ ;  $b_{123} = 0,067$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 1,96$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 9,78$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,244; S\{b_i\} = 0,4945; t_R\{b_1\} = 8,551; t_R\{b_2\} = 3,592; \\ t_R\{b_3\} = 5,334; t_R\{b_{12}\} = 1,778; t_R\{b_{13}\} = 0,593; t_R\{b_{23}\} = 1,4435; t_R\{b_{123}\} = 0,136.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між втратою міцності, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_R = 18,86 - 4,23x_1 - 1,78x_2 + 2,64x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$B_{\text{міц}} = -3,55h + 0,44 \cdot 10^{-2}Q - 0,14T + 32,17$$

**А.27**

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на поліетиленову нитку 44 та 44Х3 текс з трикотажу переплетення гладь відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.29.

Таблиця А.29

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників розривального навантаження на поліетиленову нитку після в'язання  $P$ , кгс

U	Фактори				$V_{\text{ном.сер}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	7,78	7,82	8,85	7,05	7,33	7,766	0,47023
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	19,45	19,52	19,4	19,8	19,5	19,534	0,02428
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	6,96	8,08	8,43	9,31	7,68	8,092	0,76227
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	20,38	20,27	20,15	20,41	20,49	20,34	0,0175
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	5,72	5,85	6,77	6,78	7,99	6,622	0,83197
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	17,45	17,47	17,71	17,82	17,9	17,67	0,04135
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	6,45	7,08	8,34	7,73	6,42	7,204	0,69143
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	19,49	19,49	19,49	19,88	19,55	19,58	0,0288
S																2,86783

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.29.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,29$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,29 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 13,351$ ;  $b_1 = 5,93$ ;  $b_2 = 0,453$ ;  $b_3 = -0,582$ ;  $b_{12} = 0,226$ ;  $b_{13} = -0,074$ ;  $b_{23} = 0,17$ ;  $b_{123} = 0,106$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,072$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,36$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо } S^2\{b_i\} &= 0,009; S\{b_i\} = 0,095; t_R\{b_1\} = 62,64; t_R\{b_2\} = 4,78; \\ t_R\{b_3\} &= 6,15; t_R\{b_{12}\} = 2,39; t_R\{b_{13}\} = 0,78; t_R\{b_{23}\} = 1,8; t_R\{b_{123}\} = 1,11. \end{aligned}$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 13,35 + 5,93x_1 + 0,45x_2 - 0,58x_3 + 0,23x_1x_2$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P = 3,7 + 0,1T + 0,002 \cdot 10^{-3}h - 9,8 \cdot 10^{-4}Q + 0,01Th$$

## А.28

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на одиницю лінійної густини поліетиленової нитки з полотна переплетення гладь відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12 (Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.30.

Таблиця А.30

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників питомого розривального навантаження на поліетиленову нитку з полотен переплетення гладь  $P_{num}$ , кгс/ текс

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	0,18	0,18	0,20	0,16	0,17	0,18	0,000243
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	1,3910 <sup>-06</sup>
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	0,16	0,18	0,19	0,21	0,17	0,18	0,000394
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,15	1·10 <sup>-06</sup>
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	0,13	0,13	0,15	0,15	0,18	0,15	0,00043
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,13	2,3710 <sup>-06</sup>
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,15	0,16	0,19	0,18	0,15	0,16	0,000357
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	1,6510 <sup>-06</sup>
S																0,00143

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.30.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,3$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\partial}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,3 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 0,16$ ;  $b_1 = -0,01$ ;  $b_2 = 0,005$ ;  $b_3 = -0,01$ ;  $b_{12} = -7,57576 \cdot 10^{-06}$ ;  $b_{13} = 0,003$ ;  $b_{23} = 0,002$ ;  $b_{123} = 0,0003$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 3,575 \cdot 10^{-05}$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 0,0002$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 4,46852 \cdot 10^{-06}; S\{b_i\} = 0,002; t_R\{b_1\} = 5,34; t_R\{b_2\} = 2,44; t_R\{b_3\} = 3,9; t_R\{b_{12}\} = 0,0035; t_R\{b_{13}\} = 1,555; t_R\{b_{23}\} = 0,84; t_R\{b_{123}\} = 0,15.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_d=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між питомим розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 0,16 - 0,01x_1 + 5,15 \cdot 10^{-3}x_2 - 8,26 \cdot 10^{-3}x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P_{\text{нит}} = 0,01h - 1,4 \cdot 10^{-5}Q - 2,6 \cdot 10^{-4}T + 1,8 \cdot 10^{-2}$$

## А.29

Умови трифакторного експерименту для втрати міцності поліетиленової нитки з полотна переплетення гладь 44 та 44Х3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Виходячи з таблиці А.27 та міцності нитки до в'язання, що становить  $P_o=9,31$  кгс для нитки 44 текс та  $P_o=23$  кгс для нитки 44Х3 текс отримуємо втрату міцності нитки  $P_v$  (%) та вносимо у таблицю А.31.

Таблиця А.31

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників втрати міцності  $P_v$ , %

U	Фактори				$V_{\text{ном.сер}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РППД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	16,43	16,00	4,94	24,27	21,27	16,58	54,25
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	15,43	15,13	15,65	13,91	15,22	15,07	0,46
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	25,24	13,21	9,45	0,00	17,51	13,08	87,94
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	11,39	11,87	12,39	11,26	10,91	11,57	0,33
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	38,56	37,16	27,28	27,18	14,18	28,87	95,99
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	24,13	24,04	23,00	22,52	22,17	23,17	0,78
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	30,72	23,95	10,42	16,97	31,04	22,62	79,77
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	15,26	15,26	15,26	13,57	15,00	14,87	0,54
S																320,07

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.31.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідках матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,3$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\partial} = 0,95; f\{S_u^2\} = m - 1 = 5 - 1 = 4; N = 8] = 0,3910$$

Так як  $G_R = 0,3 < G_T = 0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 18,23$ ;  $b_1 = -2,06$ ;  $b_2 = -2,695$ ;  $b_3 = 4,15$ ;  $b_{12} = -0,26$ ;  $b_{13} = -1,3$ ;  $b_{23} = -0,64$ ;  $b_{123} = -0,26$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2 \{\bar{Y}\} = 8$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 40$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 1; S\{b_i\} = 1; t_R\{b_1\} = 2,06; t_R\{b_2\} = 2,69; t_R\{b_3\} = 4,15; \\ t_R\{b_{12}\} = 0,26; t_R\{b_{13}\} = 1,3; t_R\{b_{23}\} = 0,94; t_R\{b_{123}\} = 0,26.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T [P_{\partial} = 0,95; f = 8(5 - 1) = 32] = 2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між втратою міцності, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 18,23 - 2,06x_1 - 2,69x_2 + 4,15x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$B_{\text{міц}} = 24,77 - 5,39h + 0,7 \cdot 10^{-2} Q - 0,07T$$

### А.30

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на поліетиленову нитку 44 та 44Х3 текс з трикотажу переплетення ластик відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.32.

Таблиця А.32

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників розривального навантаження на поліетиленову нитку після в'язання  $P$ , кгс

U	Фактори				V <sub>ном.сеп</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РПД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	9,29	8,17	8,79	7,99	9	8,648	0,30
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	21,95	22	21,06	21,35	21,43	21,558	0,16

## Продовження таблиці А.32

3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	8,99	8,76	8,85	9,04	8,75	8,878	0,017
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	21,12	21,21	21,75	21,98	21	21,412	0,18
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	7,24	7,19	7,18	7,25	7,1	7,192	0,0036
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	17,69	17,78	17,9	17,5	17,54	17,682	0,027
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	8,88	8,25	8,61	8,21	8,64	8,518	0,08
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	22,8	22,4	23,28	23,1	23	22,916	0,11
S																0,89

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.32.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,34$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,34 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 14,6005$ ;  $b_1 = 6,2915$ ;  $b_2 = 0,8305$ ;  $b_3 = -0,5235$ ;  $b_{12} = 0,4415$ ;  $b_{13} = -0,0695$ ;  $b_{23} = 0,8095$ ;  $b_{123} = 0,5355$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 0,022$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 0,112$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

$$\text{Отримуємо } S^2\{b_i\} = 0,0028; S\{b_i\} = 0,053; t_R\{b_1\} = 119,03; t_R\{b_2\} = 15,71; \\ t_R\{b_3\} = 9,90; t_R\{b_{12}\} = 8,35; t_R\{b_{13}\} = 1,31; t_R\{b_{23}\} = 15,31; t_R\{b_{123}\} = 10,13.$$

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_{\alpha}=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 14,6 + 6,29x_1 + 0,83x_2 - 0,52x_3 + 0,44x_1x_2 + 0,81x_2x_3 + 0,54x_1x_2x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P = -1,65 + 0,36T + 1,88h + 1,8 \cdot 10^3 Q - 0,07Th - 1,2 \cdot 10^{-4} TQ - 8,8 \cdot 10^{-4} hQ + 4 \cdot 10^{-4} ThQ$$

**А.31**

Умови трифакторного експерименту для розривального навантаження на одиницю лінійної густини поліетиленової нитки з полотна переплетення

ластик відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12 (Додаток А.11).

Матриця планування ПФЕ 23 при п'яти повторних дослідах ( $m=5$ ) з рандомізованим порядком їх виконання представлена у таблиці А.33.

Таблиця А.33

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників питомого розривального навантаження на поліетиленову нитку з полотен переплетення ластик  $P_{num}$ , кгс/ текс

U	Фактори				V <sub>ном.сер</sub>					Y <sub>uv</sub>					$\bar{Y}_u$	S <sup>2</sup> <sub>u</sub> {Y}
	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	РППД					Y <sub>u1</sub>	Y <sub>u2</sub>	Y <sub>u3</sub>	Y <sub>u4</sub>	Y <sub>u5</sub>		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	0,21	0,19	0,20	0,18	0,20	0,20	0,000157
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	9,42·10 <sup>-6</sup>
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20	9,02·10 <sup>-6</sup>
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	0,16	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	1,05·10 <sup>-5</sup>
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	1,84·10 <sup>-6</sup>
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	1,59·10 <sup>-6</sup>
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	4,15·10 <sup>-5</sup>
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	0,17	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	6,5E·10 <sup>-6</sup>
S																0,000238

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.33.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідах матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,4$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_{\alpha}=0,95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,4 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0 = 0,173$ ;  $b_1 = -0,015$ ;  $b_2 = 0,009$ ;  $b_3 = -0,007$ ;  $b_{12} = 0,0004$ ;  $b_{130,003}$ ;  $b_{23} = 0,008$ ;  $b_{123} = 0,002$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2\{\bar{Y}\} = 5,94 \cdot 10^{-06}$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2\{Y\} = 2,97 \cdot 10^{-05}$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\} = 7,42476 \cdot 10^{-07}$ ;  $S\{b_i\} = 0,0009$ ;  $t_R\{b_1\} = 17,738$ ;  $t_R\{b_2\} = 10,721$ ;  $t_R\{b_3\} = 8,594$ ;  $t_R\{b_{12}\} = 0,451$ ;  $t_R\{b_{13}\} = 3,38$ ;  $t_R\{b_{23}\} = 9,53$ ;  $t_R\{b_{123}\} = 2,3$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$



Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між питомим розривальним навантаженням, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 0,17 - 1,5 \cdot 10^{-2} x_1 + 0,92 \cdot 10^{-2} x_2 - 0,74 \cdot 10^{-2} x_3 + 0,29 \cdot 10^{-2} x_1 x_3 + 0,82 \cdot 10^{-2} x_2 x_3 + 0,2 \cdot 10^{-2} x_1 x_2 x_3$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$P_{\text{мин}} = 0,3 + 0,39 \cdot 10^{-3} T - 6,69 \cdot 10^{-5} Q - 1,5 \cdot 10^{-2} h + 1,48 \cdot 10^{-5} hQ - 0,33 \cdot 10^{-3} Th - 3,28 \cdot 10^{-7} TQ + 1,48 \cdot 10^{-7} ThQ$$

### A.32

Умови трифакторного експерименту для втрати міцності поліетиленової нитки з полотна переплетення ластик 44 та 44X3 текс відповідають умовам експерименту, наведених у таблиці А.12(Додаток А.11).

Виходячи з таблиці А.30 та міцності нитки до в'язання, що становить  $P_0=9,31$  кгс для нитки 44 текс та  $P_0=23$  кгс для нитки 44X3 текс отримуємо втрату міцності нитки  $P_B$  (%) та вносимо у таблицю А.34.

Таблиця А.34

Матриця планування експерименту та середні значення досліджуваних показників втрати міцності  $P_B$ , %

U	Фактори				$V_{\text{ном.сеп}}$					$Y_{uv}$					$\bar{Y}_u$	$S^2_u\{Y\}$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	РПЦД					$Y_{u1}$	$Y_{u2}$	$Y_{u3}$	$Y_{u4}$	$Y_{u5}$		
					1	2	3	4	5							
1	+	-	-	-	1	18	16	10	4	6,77	4,94	3,44	11,92	8,49	7,11	10,84
2	+	+	-	-	23	29	37	25	32	4,57	4,35	8,43	7,17	6,83	6,27	3,10
3	+	-	+	-	9	12	5	21	15	3,44	5,91	4,94	2,90	6,02	4,64	2,02
4	+	+	+	-	14	38	30	36	33	8,17	7,78	5,43	4,43	8,70	6,90	3,46
5	+	-	-	+	31	8	35	13	24	22,23	22,77	22,88	22,13	23,74	22,75	0,41
6	+	+	-	+	6	22	2	39	10	23,09	22,70	22,17	23,91	23,74	23,12	0,52
7	+	-	+	+	28	34	26	20	19	4,62	11,39	7,52	11,82	7,20	8,51	9,26
8	+	+	+	+	3	17	11	27	7	0,87	2,61	1,20	0,43	0,00	1,02	0,99
S																30,61

Розраховуємо дисперсію  $S^2_u\{Y\}$  за формулою А.1 та вносимо у таблицю А.34.

Перевіряємо гіпотезу про однорідність дисперсії в дослідях матриці з допомогою критерії Кочрена (формула А.2):

$$G_R = 0,35$$

Табличне значення критерія Кочрена:

$$G_T = [P_0=0.95; f\{S_u^2\}=m-1=5-1=4; N=8]=0,3910$$

Так як  $G_R=0,35 < G_T=0,3910$ , то дисперсії однорідні.

За формулами А.3, А.5, А.6 розраховуємо коефіцієнти регресії та отримуємо значення  $b$ , де  $b_0=10,041$ ;  $b_1=-0,711$ ;  $b_2=-4,772$ ;  $b_3=3,8095$ ;  $b_{12}=-0,594$ ;  $b_{13}=-1,067$ ;  $b_{23}=-4,313$ ;  $b_{123}=-1,37$ .

Дисперсію середнього значення розраховуємо за формулою А.8:

$$S^2 \{\bar{Y}\} = 0,765$$

Оскільки дисперсії однорідні, то дисперсія відтворюваності (середня дисперсія) визначається за формулою А.9:

$$S^2 \{Y\} = 3,826$$

Тоді дисперсії коефіцієнтів  $S^2\{b_i\}$  і розрахункові значення критерія Ст'юдента визначаємо за формулою А.7:

Отримуємо  $S^2\{b_i\}=0,096$ ;  $S\{b_i\}=0,309$ ;  $t_R\{b_1\}=2,299$ ;  $t_R\{b_2\}=15,43$ ;  $t_R\{b_3\}=12,318$ ;  $t_R\{b_{12}\}=1,920$ ;  $t_R\{b_{13}\}=3,45$ ;  $t_R\{b_{23}\}=13,946$ ;  $t_R\{b_{123}\}=1,37$ .

Табличне значення критерія Ст'юдента:

$$t_T[P_D=0,95; f=8(5-1)=32]=2,042$$

Якщо  $t_R > t_T$ , то гіпотеза про значущість коефіцієнтів регресії не відкидається.

Отже, взаємозв'язок між втратою міцності, лінійною густиною, зусиллям відтягування і глибиною кулірування має вигляд:

$$Y_r = 10,04 - 0,71x_1 - 4,77x_2 + 3,81x_3 - 1,07x_1x_3 - 4,31x_2x_3 - 1,37x_1x_2x_3.$$

Після виконання перевірки адекватності одержаної моделі за допомогою критерія Фішера (додаток Г) отримуємо рівняння у натуральному вигляді:

$$B_{миц} = -16,11 + 1,65h + 0,02Q - 0,63T - 0,5 \cdot 10^2 hQ + 0,24Th + 0,27 \cdot 10^{-3} TQ - 0,1 \cdot 10^{-3} ThQ$$



**ДОДАТОК В**  
Таблиця значень критерія Ст'юдента  $t_T[P_D f]$

$f$	$P_D$				
	Двосторонній критерій				
	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
1	3,078	6,314	12,706	63,657	636,62
2	1,886	2,920	4,303	9,925	31,598
3	1,638	2,353	3,182	5,841	12,924
4	1,533	2,132	2,776	4,604	8,610
5	1,476	2,015	2,571	4,032	6,869
6	1,440	1,943	2,447	3,707	5,959
7	1,415	1,895	2,365	3,499	5,408
8	1,397	1,860	2,306	3,355	5,041
9	1,383	1,833	2,262	3,250	4,781
10	1,372	1,812	2,228	3,169	4,587
11	1,363	1,796	2,201	3,106	4,437
12	1,356	1,782	2,179	3,055	4,318
13	1,350	1,771	2,160	3,012	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,977	4,140
15	1,341	1,753	2,131	2,947	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,921	4,015
17	1,333	1,740	2,110	2,898	3,965
18	1,330	1,734	2,101	2,878	3,922
19	1,328	1,729	2,093	2,861	3,883
20	1,325	1,725	2,086	2,845	3,850
21	1,323	1,721	2,080	2,831	3,819
22	1,321	1,717	2,074	2,819	3,792
23	1,319	1,714	2,069	2,807	3,767
24	1,318	1,711	2,064	2,797	3,745
25	1,316	1,708	2,060	2,787	3,725
26	1,315	1,706	2,056	2,779	3,707
27	1,314	1,703	2,052	2,771	3,690
28	1,313	1,701	2,048	2,763	3,674
29	1,311	1,699	2,045	2,756	3,659
30	1,310	1,697	2,042	2,750	3,646
40	1,303	1,684	2,021	2,704	3,551
60	1,296	1,671	2,000	2,660	3,460
120	1,289	1,658	1,980	2,617	3,373
$\infty$	1,282	1,645	1,960	2,576	3,291
$P_D$	0,90	0,95	0,975	0,995	0,9995
	Односторонній критерій				

## ДОДАТОК Г

Таблиця значень критерія Фішера  $F_T [P_D = 0,95; f_2; f_1]$  $(f_2$ – ступінь свободи для більшої дисперсії,  $f_1$ – ступінь свободи для меншої дисперсії)

$f_2 \backslash f_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,01	2,55	2,49
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	3,922	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96
$\infty$	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88

## Продовження додатку Г

	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
1	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	4,00	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,225	2,21
14	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73 .
25	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,69
26	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,67
27	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,65
28	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,64
29	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,62
30	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,51
40	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,39
60	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,25
120	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,00
$\infty$	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,71

## ДОДАТОК Г

## Г.1

Результати вимірювання розривального навантаження ниток після циклічних навантажень а заносимо у другий стовпчик таблиці, розраховуємо та заносимо в третій стовпчик цієї таблиці різності, а в четверту – їх квадрати (Таблиця Г.1).

Таблиця Г.1

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 20 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	9,65	-0,135	0,018225
2	9,42	0,095	0,009025
3	9,65	-0,135	0,018225
4	9,51	0,005	0,000025
5	9,57	-0,055	0,003025
6	9,53	-0,015	0,000225
7	9,58	-0,065	0,004225
8	9,4	0,115	0,013225
9	9,35	0,165	0,027225
10	9,49	0,025	0,000625
$\bar{x}$	9,515		0,09405

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n(n-1)}}$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0,09405}{9}} = 0,1$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента (Додаток В) для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = S_{\bar{x}} \cdot t$$

$$\Delta x = 0,1 \cdot 2,26 = 0,231029$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $9,283970954 <x> 9,746029046$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{0,231029}{9,515} \cdot 100 = 2,428051 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 20 циклів випробувань складає 9,515 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності (розділ 3, формула 3.1) складає:

$$K_{20} = \frac{9,515}{10,03} \cdot 100 = 94,865 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 20 циклів навантаження:

$$Y_{20} = 100 - K_{20}$$

$$Y_{20} = 100 - 94,865 = 5,13 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

Г.2

Таблиця Г.2

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 30 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	9,49	-0,574	0,329476
2	8,74	0,176	0,030976
3	8,58	0,336	0,112896
4	8,25	0,666	0,443556
5	9,69	-0,774	0,599076
6	8,62	0,296	0,087616
7	9,16	-0,244	0,059536
8	8,83	0,086	0,007396
9	9,32	-0,404	0,163216
10	8,48	0,436	0,190096
$\bar{x}$	<b>8,916</b>		<b>2,02384</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного  $S_{\bar{x}}$ :

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,02384}{9}} = 0,474205769$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,474205769 \cdot 2,26 = 1,071705037$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,844294963 <x> 9,987705037$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,071705037}{8,916} \cdot 100 = 12,02002061 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 30 циклів випробувань складає 8,916 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{30} = \frac{8,916}{10,03} \cdot 100 = 88,893 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 30 циклів навантаження:

$$Y_{30} = 100 - 88,893 = 11,11 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.



## Г.3

Таблиця Г.3

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 40 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	9,02	-0,481	0,231361
2	8,46	0,079	0,006241
3	8,25	0,289	0,083521
4	8,46	0,079	0,006241
5	8,34	0,199	0,039601
6	8,54	-0,001	0,000001
7	8,26	0,279	0,077841
8	8,49	0,049	0,002401
9	9,09	-0,551	0,303601
10	8,48	0,059	0,003481
$\bar{x}$	<b>8,539</b>		<b>0,75429</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного  $S_{\bar{x}}$ :

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0,75429}{9}} = 0,289499568$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,289499568 \cdot 2,26 = 0,654269024$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,884730976 < x > 9,193269024$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,654269024}{8,539} \cdot 100 = 7,662126996 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 40 циклів випробувань складає 8,539 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{40} = \frac{8,539}{10,03} \cdot 100 = 85,1345 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 40 циклів навантаження:

$$Y_{40} = 100 - 85,1345 = 14,865 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.4

Таблиця Г.4

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 50 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,64	-0,117	0,013689

## Продовження таблиці Г.4

2	8,46	0,063	0,003969
3	8,25	0,273	0,074529
4	8,46	0,063	0,003969
5	8,57	-0,047	0,002209
6	8,53	-0,007	0,000049
7	8,26	0,263	0,069169
8	8,49	0,033	0,001089
9	9,09	-0,567	0,321489
10	8,48	0,043	0,001849
$\bar{x}$	<b>8,523</b>		<b>0,49201</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0,49201}{9}} = 0,233811415$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,233811415 \cdot 2,26 = 0,528413798$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,994586202 < x < 9,051413798$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,528413798}{8,523} \cdot 100 = 6,199856833 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 50 циклів випробувань складає 8,523 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{50} = \frac{8,523}{10,03} \cdot 100 = 84,975 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 50 циклів навантаження:

$$Y_{50} = 100 - 84,975 = 15,02 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.5

## Таблиця Г.5

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 60 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,23	0,095	0,009025
2	8,34	-0,015	0,000225
3	8,28	0,045	0,002025
4	8,64	-0,315	0,099225
5	8,21	0,115	0,013225
6	8,47	-0,145	0,021025

Продовження таблиці Таблиця Г.5

7	8,16	0,165	0,027225
8	8,59	-0,265	0,070225
9	8,17	0,155	0,024025
10	8,16	0,165	0,027225
$\bar{x}$	<b>8,325</b>		<b>0,29345</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0,29345}{9}} = 0,180570085$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,180570085 \cdot 2,26 = 0,408088392$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,916911608 <x> 8,733088392$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,408088392}{8,325} \cdot 100 = 4,901962665 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 60 циклів випробувань складає 8,325 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{60} = \frac{8,325}{10,03} \cdot 100 = 83 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 60 циклів навантаження:

$$Y_{60} = 100 - 83 = 17 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.6

Таблиця Г.6

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 70 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,03	0,195	0,038025
2	8,48	-0,255	0,065025
3	8,18	0,045	0,002025
4	8,29	-0,065	0,004225
5	8,14	0,085	0,007225
6	8,73	-0,505	0,255025
7	8,09	0,135	0,018225
8	8,11	0,115	0,013225
9	7,86	0,365	0,133225
10	8,34	-0,115	0,013225
$\bar{x}$	<b>8,225</b>		<b>0,54945</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{0,54945}{9}} = 0,247082982$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,247082982 \cdot 2,26 = 0,558407539$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,666592461 <x> 8,783407539$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,558407539}{8,225} \cdot 100 = 6,789149415 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 70 циклів випробувань складає 8,225 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{70} = \frac{8,225}{10,03} \cdot 100 = 82 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 70 циклів навантаження:

$$Y_{70} = 100 - 82 = 18 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

**Г.7**

Таблиця Г.7

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 80 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,67	0,549	0,301401
2	8,94	-0,721	0,519841
3	8,15	0,069	0,004761
4	8,26	-0,041	0,001681
5	7,65	0,569	0,323761
6	8,33	-0,111	0,012321
7	8,16	0,059	0,003481
8	8,34	-0,121	0,014641
9	8,26	-0,041	0,001681
10	8,43	-0,211	0,044521
$\bar{x}$	<b>8,219</b>		<b>1,22809</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,22809}{9}} = 0,369397407$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,369397407 \cdot 2,26 = 0,83483814$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,38416186 <x> 9,05383814$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,83483814}{8,219} \cdot 100 = 10,15741745 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 80 циклів випробувань складає 8,219 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{80} = \frac{8,219}{10,03} \cdot 100 = 81,944 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 80 циклів навантаження:

$$Y_{80} = 100 - 81,944 = 18,05 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

**Г.8**

Таблиця Г.8

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 90 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,92	0,258	0,066564
2	8,21	-0,032	0,001024
3	7,83	0,348	0,121104
4	7,47	0,708	0,501264
5	8,64	-0,462	0,213444
6	7,91	0,268	0,071824
7	9,01	-0,832	0,692224
8	8,27	-0,092	0,008464
9	8,88	-0,702	0,492804
10	7,64	0,538	0,289444
$\bar{x}$	<b>8,178</b>		<b>2,45816</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,45816}{9}} = 0,522617345$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,522617345 \cdot 2,26 = 1,181115199$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,996884801 <x> 9,359115199$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,181115199}{8,178} \cdot 100 = 14,44259231 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 90 циклів випробувань складає 8,178 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{90} = \frac{8,178}{10,03} \cdot 100 = 81,535 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 90 циклів навантаження:

$$Y_{90} = 100 - 81,535 = 18,46 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.9

Таблиця Г.9

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 100 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,66	0,387	0,149769
2	8,7	-0,653	0,426409
3	7,22	0,827	0,683929
4	8,31	-0,263	0,069169
5	7,92	0,127	0,016129
6	7,38	0,667	0,444889
7	8,49	-0,443	0,196249
8	7,81	0,237	0,056169
9	8,67	-0,623	0,388129
10	8,31	-0,263	0,069169
$\bar{x}$	<b>8,047</b>		<b>2,50001</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,50001}{9}} = 0,527047331$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,527047331 \cdot 2,26 = 1,191126968$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі 6,855873032 < $x$ >9,238126968 з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,191126968}{8,047} \cdot 100 = 14,80212461 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 100 циклів випробувань складає 8,047 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{100} = \frac{8,047}{10,03} \cdot 100 = 80,229 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 100 циклів навантаження:

$$Y_{100} = 100 - 80,229 = 19,77 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.10

Таблиця Г.10

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 110 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,46	-0,71	0,5041
2	8,38	-0,63	0,3969
3	7,32	0,43	0,1849
4	7,77	-0,02	0,0004
5	6,94	0,81	0,6561
6	7,65	0,1	0,01
7	7,98	-0,23	0,0529
8	8,67	-0,92	0,8464
9	7,45	0,3	0,09
10	6,88	0,87	0,7569
$\bar{x}$	<b>7,7501</b>		<b>3,4986</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{3,4986}{9}} = 0,62348483$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ ,

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,62348483 \cdot 2,26 = 1,409075716$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,340924284 <x> 9,159075716$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,409075716}{7,7501} \cdot 100 = 18,18162214 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 110 циклів випробувань складає 7,7501 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{110} = \frac{7,7501}{10,03} \cdot 100 = 77,269 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 110 циклів навантаження:

$$Y_{110} = 100 - 77,269 = 22,73 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.11

Таблиця Г.11

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 120 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,34	0,37	0,1369
2	6,52	1,19	1,4161

## Продовження таблиці Г.11

3	8,34	-0,63	0,3969
4	8,59	-0,88	0,7744
5	7,64	0,07	0,0049
6	8,48	-0,77	0,5929
7	8,22	-0,51	0,2601
8	7,64	0,07	0,0049
9	7,06	0,65	0,4225
10	7,27	0,44	0,1936
$\bar{x}$	<b>7,71</b>		<b>4,2032</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,2032}{9}} = 0,683390242$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,683390242 \cdot 2,26 = 1,544461946$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,165538054 < x > 9,254461946$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,544461946}{7,710} \cdot 100 = 20,03193185 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 120 циклів випробувань складає 7,710 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{120} = \frac{7,710}{10,03} \cdot 100 = 76,869 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 120 циклів навантаження:

$$Y_{120} = 100 - 76,869 = 23,13 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.12

## Таблиця Г.12

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 130 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,64	-0,235	0,055225
2	8,45	-1,045	1,092025
3	6,92	0,485	0,235225
4	7,61	-0,205	0,042025
5	8,06	-0,655	0,429025
6	6,35	1,055	1,113025
7	6,47	0,935	0,874225
8	7,5	-0,095	0,009025



## Продовження таблиці Г.12

9	8,6	-1,195	1,428025
10	6,45	0,955	0,912025
$\bar{x}$	<b>7,405</b>		<b>6,18985</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{6,18985}{9}} = 0,829313639$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,829313639 \cdot 2,26 = 1,874248823$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $5,530751177 <x> 9,279248823$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,874248823}{7,405} \cdot 100 = 25,31058505 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 130 циклів випробувань складає 7,405 кгс. При цьому навантаження на парамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{130} = \frac{7,405}{10,03} \cdot 100 = 73,8285 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 130 циклів навантаження:

$$Y_{130} = 100 - 73,8285 = 26,171 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

## Г.13

## Таблиця Г.13

Розривальне навантаження на парамідну нитку 58,8 текс після 140 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,78	-0,65	0,4225
2	6,46	0,67	0,4489
3	7,38	-0,25	0,0625
4	6,79	0,34	0,1156
5	7,31	-0,18	0,0324
6	6,65	0,48	0,2304
7	6,88	0,25	0,0625
8	7,56	-0,43	0,1849
9	7,29	-0,16	0,0256
10	7,2	-0,07	0,0049
$\bar{x}$	<b>7,13</b>		<b>1,5902</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,5902}{9}} = 0,420343775$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ .

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,420343775 \cdot 2,26 = 0,949976931$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,180023069 <x> 8,079976931$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,949976931}{7,1303} \cdot 100 = 13,32365962\%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 140 циклів випробувань складає 7,1303 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{140} = \frac{7,1303}{10,03} \cdot 100 = 71,0897\%$$

Розраховуємо втрату міцності після 140 циклів навантаження:

$$Y_{140} = 100 - 70,0897 = 28,9103\%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

#### Г.14

Таблиця Г.14

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс після 150 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	6,48	0,423	0,178929
2	6,43	0,473	0,223729
3	7,86	-0,957	0,915849
4	6,48	0,423	0,178929
5	7,42	-0,517	0,267289
6	7,2	-0,297	0,088209
7	6,45	0,453	0,205209
8	6,74	0,163	0,026569
9	7,72	-0,817	0,667489
10	6,25	0,653	0,426409
$\bar{x}$	<b>6,903</b>		<b>3,17861</b>

Визначаємо середньоквадратичну помилку середнього арифметичного

$$S_{\bar{x}}: \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{3,17861}{9}} = 0,594288557$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ ,

Розраховуємо абсолютну помилку:

$$\Delta x = 0,594288557 \cdot 2,26 = 1,343092139$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $5,559907861 <x> 8,246092139$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Визначаємо відносну похибку результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,343092139}{6,903} \cdot 100 = 19,45664405 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 150 циклів випробувань складає 6,902 кгс. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8 текс до в'язання – 10,03 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{150} = \frac{6,903}{10,03} \cdot 100 = 68,8235 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 150 циклів навантаження:

$$Y_{150} = 100 - 68,8235 = 31,17 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.15.

Таблиця Г.15

## Втрата міцності нитки параарамідної нитки 58,8 Текс

№ пп	Кількість циклів	a, кгс	Втрата міцності, %
1	20	9,515461	5,13
2	30	8,91667	11,1
3	40	8,539542	14,86
4	50	8,523494	15,02
5	60	8,325903	16,99
6	70	8,225603	17,99
7	80	8,219585	18,05
8	90	8,178462	18,46
9	100	8,047069	19,77
10	110	7,750181	22,73
11	120	7,710061	23,13
12	130	7,405149	26,17
13	140	7,130327	28,91
14	150	6,903649	31,17

Г.15

Таблиця Г.16

## Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс після 50 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	17,45	-0,714	0,509796
2	16,37	0,366	0,133956
3	17,64	-0,904	0,817216
4	16,98	-0,244	0,059536
5	16,84	-0,104	0,010816
6	16,48	0,256	0,065536
7	16,27	0,466	0,217156
8	16,99	-0,254	0,064516
9	15,87	0,866	0,749956
10	16,47	0,266	0,070756
$\bar{x}$	<b>16,736</b>		<b>2,69924</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,69924}{9}} = 0,547645465$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = S_{\bar{x}} \cdot t$$

$$\Delta x = 0,547645465 \cdot 2,26 = 1,237678751$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $15,49832125 < x > 17,97367875$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,237678751}{16,736} \cdot 100 = 7,395308027\%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 50 циклів випробувань складає 16,736. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс до в'язання – 18 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{50} = \frac{16,736}{18} \cdot 100 = 92,978 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 50 циклів навантаження:

$$Y_{50} = 100 - K_{50}$$

$$Y_{50} = 100 - 92,978 = 7,02 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.22.

## Г.16

Таблиця Г.17

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс після 100 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	15,04	0,605	0,366025
2	15,11	0,535	0,286225
3	15,68	-0,035	0,001225
4	15,53	0,115	0,013225
5	16,48	-0,835	0,697225
6	15,36	0,285	0,081225
7	15,66	-0,015	0,000225
8	15,43	0,215	0,046225
9	15,61	0,035	0,001225
10	16,55	-0,905	0,819025
$\bar{x}$	<b>15,645</b>		<b>2,31185</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,31185}{9}} = 0,506825633$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,506825633 \cdot 2,26 = 1,14542593$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $14,49957407 <x> 16,79042593$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,14542593}{15,645} \cdot 100 = 7,321354621 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 100 циклів випробувань складає 15,645. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс до в'язання – 18 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{100} = \frac{15,645}{18} \cdot 100 = 86,917 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 50 циклів навантаження:

$$Y_{100} = 100 - 86,917 = 13,08 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.22.

**Г.17**

Таблиця Г.18

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс після 150 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	14,33	0,338	0,114244
2	15,25	-0,582	0,338724
3	14	0,668	0,446224
4	14,85	-0,182	0,033124
5	15,21	-0,542	0,293764
6	14,67	-0,002	4E-06
7	14,54	0,128	0,016384
8	14,01	0,658	0,432964
9	15,46	-0,792	0,627264
10	14,36	0,308	0,094864
$\bar{x}$	<b>14,668</b>		<b>2,39756</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,39756}{9}} = 0,516135211$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,516135211 \cdot 2,26 = 1,166465576$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $13,50153442 <x> 15,83446558$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,166465576}{14,668} \cdot 100 = 7,95245143 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 150 циклів випробувань складає 14,668. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс до в'язання – 18 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{150} = \frac{14,668}{18} \cdot 100 = 81,489 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 150 циклів навантаження:

$$Y_{150} = 100 - 81,489 = 18,511 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.22.

**Г.18**

Таблиця Г.19

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8 Х2 текс після 200 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	13,34	0,711	0,505521
2	14,57	-0,519	0,269361
3	13,61	0,441	0,194481
4	14,28	-0,229	0,052441
5	13,96	0,091	0,008281
6	14,33	-0,279	0,077841
7	13,94	0,111	0,012321
8	13,57	0,481	0,231361
9	14,34	-0,289	0,083521
10	14,57	-0,519	0,269361
$\bar{x}$	<b>14,051</b>		<b>1,70449</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,70449}{9}} = 0,435187061$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,435187061 \cdot 2,26 = 0,983522757$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі 13,06747724 < $x$ > 15,03452276 з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,983522757}{14,051} \cdot 100 = 6,999663776 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 200 циклів випробувань складає 14,051. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс в'язання – 18 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{200} = \frac{14,051}{18} \cdot 100 = 78,061 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 200 циклів навантаження:

$$Y_{200} = 100 - 78,061 = 21,94 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.22.

**Г.19**

Таблиця Г.20

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс після 250 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	13,67	0,179	0,032041
2	14,21	-0,361	0,130321
3	13,67	0,179	0,032041
4	13,75	0,099	0,009801
5	14,03	-0,181	0,032761
6	13,64	0,209	0,043681
7	13,25	0,599	0,358801
8	14,49	-0,641	0,410881
9	13,41	0,439	0,192721
10	14,37	-0,521	0,271441
$\bar{x}$	<b>13,849</b>		<b>1,51449</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,51449}{9}} = 0,410215391$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,410215391 \cdot 2,26 = 0,927086783$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $12,92191322 <x> 14,77608678$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,927086783}{13,849} \cdot 100 = 6,694250724 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 250 циклів випробувань складає 13,849. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс до в'язання – 18 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{250} = \frac{13,849}{18} \cdot 100 = 76,939 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 250 циклів навантаження:

$$Y_{250} = 100 - 76,939 = 23,06 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.22.

## Г.20

Таблиця Г.21

Розривальне навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс після 300 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	12,36	0,686	0,470596
2	13,26	-0,214	0,045796
3	13,94	-0,894	0,799236
4	12,71	0,336	0,112896
5	12,37	0,676	0,456976
6	13,54	-0,494	0,244036
7	12,65	0,396	0,156816
8	13,49	-0,444	0,197136
9	12,66	0,386	0,148996
10	13,48	-0,434	0,188356
$\bar{x}$	<b>13,046</b>		<b>2,82084</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,82084}{9}} = 0,559845217$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,559845217 \cdot 2,26 = 1,26525019$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $11,78074981 <x> 14,31125019$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,26525019}{13,046} \cdot 100 = 9,698376435\%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 300 циклів випробувань складає 13,046. При цьому навантаження на параарамідну нитку 58,8Х2 текс до в'язання – 18 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{13,046}{18} \cdot 100 = 72,478\%$$

Розраховуємо втрату міцності після 300 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 72,478 = 27,52\%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.22.

Таблиця Г.22

Втрата міцності нитки параарамідної нитки 58,8Х2 текс

№ пп	Кількість циклів, $N_{ц}$	Втрата міцності $V_{міц}, \%$
1	50	7,02



## Продовження таблиці Г.22

2	100	13,08
3	150	18,51
4	200	21,94
5	250	23,06
6	300	27,52

## Г.21

## Таблиця Г.23

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 50 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	9,66	-0,561	0,314721
2	8,64	0,459	0,210681
3	8,45	0,649	0,421201
4	9,67	-0,571	0,326041
5	8,25	0,849	0,720801
6	8,92	0,179	0,032041
7	9,49	-0,391	0,152881
8	9,27	-0,171	0,029241
9	9,16	-0,061	0,003721
10	9,48	-0,381	0,145161
$\bar{x}$	<b>9,099</b>		<b>2,35649</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,35649}{9}} = 0,511695439$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,511695439 \cdot 2,26 = 1,156431692$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,942568308 < x < 10,25543169$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,156431692}{9,099} \cdot 100 = 12,70943721 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 50 циклів випробувань складає 9,099594. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{9,099594}{9,31} \cdot 100 = 97,74 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 50 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 97,74 = 2,26 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

Г.22

Таблиця Г.24

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 100 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,69	0,287	0,082369
2	9,67	-0,693	0,480249
3	8,16	0,817	0,667489
4	8,49	0,487	0,237169
5	8,42	0,557	0,310249
6	9,53	-0,553	0,305809
7	8,6	0,377	0,142129
8	9,75	-0,773	0,597529
9	8,91	0,067	0,004489
10	9,55	-0,573	0,328329
$\bar{x}$	<b>8,977</b>		<b>3,15581</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{3,15581}{9}} = 0,592153321$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,592153321 \cdot 2,26 = 1,338266505$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,638733495 < x < 10,31526651$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,338266505}{8,977633} \cdot 100 = 14,90772536 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 100 циклів випробувань складає 8,977633. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{8,977633}{9,31} \cdot 100 = 96,42 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 100 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 96,42 = 3,58 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.23

Таблиця Г.25

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 150 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	9,26	-0,394	0,155236
2	8,18	0,686	0,470596
3	8,26	0,606	0,367236
4	8,15	0,716	0,512656
5	9,48	-0,614	0,376996
6	8,7	0,166	0,027556
7	8,16	0,706	0,498436
8	9,27	-0,404	0,163216
9	9,86	-0,994	0,988036
10	9,34	-0,474	0,224676
$\bar{x}$	<b>8,866</b>		<b>3,78464</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{3,78464}{9}} = 0,648471708$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,648471708 \cdot 2,26 = 1,465546059$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,400453941 < x > 10,33154606$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,465546059}{8,866844} \cdot 100 = 16,52995781 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 150 циклів випробувань складає 8,866844. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{8,866844}{9,31} \cdot 100 = 95,24 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 150 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 95,24 = 4,76 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.24

Таблиця Г.26

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 200 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,31	0,033	0,001089

## Продовження таблиці Г.26

2	8,49	-0,147	0,021609
3	9,51	-1,167	1,361889
4	8,04	0,303	0,091809
5	7,43	0,913	0,833569
6	8,56	-0,217	0,047089
7	7,64	0,703	0,494209
8	8,62	-0,277	0,076729
9	8,54	-0,197	0,038809
10	8,29	0,053	0,002809
$\bar{x}$	<b>8,343</b>		<b>2,96961</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,96961}{9}} = 0,574418547$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,574418547 \cdot 2,26 = 1,298185915$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,044814085 <x> 9,641185915$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,298185915}{8,343622} \cdot 100 = 15,56018117 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 200 циклів випробувань складає 8,343622. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{8,343622}{9,31} \cdot 100 = 89,62 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 200 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 89,62 = 10,38 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.25

## Таблиця Г.27

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 250 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,44	-0,224	0,050176
2	8,15	0,066	0,004356
3	7,93	0,286	0,081796
4	7,66	0,556	0,309136
5	7,62	0,596	0,355216
6	8,53	-0,314	0,098596

## Продовження таблиці Г.27

7	8,47	-0,254	0,064516
8	8,62	-0,404	0,163216
9	8,43	-0,214	0,045796
10	8,31	-0,094	0,008836
$\bar{x}$	<b>8,216</b>		<b>1,18164</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,18164}{9}} = 0,362344219$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,362344219 \cdot 2,26 = 0,818897936$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $7,397102064 < x < 9,034897936$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,818897936}{8,216075} \cdot 100 = 9,96711217 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 250 циклів випробувань складає 8,216075. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{8,216075}{9,31} \cdot 100 = 88,25 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 250 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 88,25 = 11,75 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.26

## Таблиця Г.28

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 300 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,38	-0,401	0,160801
2	8,8	-0,821	0,674041
3	6,48	1,499	2,247001
4	7,33	0,649	0,421201
5	7,92	0,059	0,003481
6	8,36	-0,381	0,145161
7	7,68	0,299	0,089401
8	8,54	-0,561	0,314721
9	8,67	-0,691	0,477481
10	7,63	0,349	0,121801
$\bar{x}$	<b>7,979</b>		<b>4,65509</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,65509}{9}} = 0,719188586$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,719188586 \cdot 2,26 = 1,625366204$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,353633796 <x> 9,604366204$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,625366204}{7,979601} \cdot 100 = 20,37055025 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 300 циклів випробувань складає 7,979601. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{7,979601}{9,31} \cdot 100 = 85,71 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 300 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 85,71 = 14,29 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

**Г.27**

Таблиця Г.29

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 350 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,64	0,233	0,054289
2	9,21	-1,337	1,787569
3	7,34	0,533	0,284089
4	6,84	1,033	1,067089
5	7,26	0,613	0,375769
6	8,48	-0,607	0,368449
7	7,3	0,573	0,328329
8	8,48	-0,607	0,368449
9	7,88	-0,007	4,9E-05
10	8,3	-0,427	0,182329
$\bar{x}$	<b>7,873</b>		<b>4,81641</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,81641}{9}} = 0,731544029$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,731544029 \cdot 2,26 = 1,653289506$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,219710494 <x> 9,526289506$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,653289506}{7,873467} \cdot 100 = 20,99948566 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 350 циклів випробувань складає 7,873467. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{7,873467}{9,31} \cdot 100 = 84,57 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 350 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 84,57 = 15,43 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.28

Таблиця Г.30

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 400 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	8,11	-0,834	0,695556
2	7,68	-0,404	0,163216
3	7,34	-0,064	0,004096
4	7,26	0,016	0,000256
5	7,2	0,076	0,005776
6	6,65	0,626	0,391876
7	7,38	-0,104	0,010816
8	6,64	0,636	0,404496
9	7,35	-0,074	0,005476
10	7,15	0,126	0,015876
$\bar{x}$	<b>7,276</b>		<b>1,69744</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,69744}{9}} = 0,434286132$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,434286132 \cdot 2,26 = 0,981486658$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,294513342 <x> 8,257486658$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,981486658}{7,276696} \cdot 100 = 13,48937133 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 400 циклів випробувань складає 7,276696. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{7,276696}{9,31} \cdot 100 = 78,16 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 400 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 78,16 = 21,84 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

**Г.29**

Таблиця Г.31

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 450 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	6,46	0,612	0,374544
2	7,34	-0,268	0,071824
3	7,55	-0,478	0,228484
4	6,84	0,232	0,053824
5	6,73	0,342	0,116964
6	7,53	-0,458	0,209764
7	6,48	0,592	0,350464
8	7,22	-0,148	0,021904
9	6,79	0,282	0,079524
10	7,78	-0,708	0,501264
$\bar{x}$	<b>7,072</b>		<b>2,00856</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,00856}{9}} = 0,472412249$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,472412249 \cdot 2,26 = 1,067651684$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $6,004348316 <x> 8,139651684$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,067651684}{7,072807} \cdot 100 = 15,09688467 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 450 циклів випробувань складає 7,072807. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:



$$K_{300} = \frac{7,072807}{9,31} \cdot 100 = 75,97 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 450 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 75,97 = 24,03 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

### Г.30

Таблиця Г.32

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 500 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	6,45	0,348	0,121104
2	6,94	-0,142	0,020164
3	7,31	-0,512	0,262144
4	6,82	-0,022	0,000484
5	6,34	0,458	0,209764
6	6,99	-0,192	0,036864
7	7,16	-0,362	0,131044
8	7,5	-0,702	0,492804
9	6,13	0,668	0,446224
10	6,34	0,458	0,209764
$\bar{x}$	<b>6,798</b>		<b>1,93036</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,93036}{9}} = 0,463124653$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,463124653 \cdot 2,26 = 1,046661716$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $5,751338284 <x> 7,844661716$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,046661716}{6,798162} \cdot 100 = 15,39661248 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 500 циклів випробувань складає 6,798162. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{6,798162}{9,31} \cdot 100 = 73,02 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 500 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 73,02 = 26,98 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.31

Таблиця Г.33

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 550 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	6,32	0,303	0,091809
2	7,34	-0,717	0,514089
3	6,82	-0,197	0,038809
4	6,24	0,383	0,146689
5	6,8	-0,177	0,031329
6	6,48	0,143	0,020449
7	7,22	-0,597	0,356409
8	5,67	0,953	0,908209
9	6,32	0,303	0,091809
10	7,02	-0,397	0,157609
$\bar{x}$	<b>6,623</b>		<b>2,35721</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,35721}{9}} = 0,511773604$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,511773604 \cdot 2,26 = 1,156608346$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $5,466391654 <x> 7,779608346$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,156608346}{6,623134} \cdot 100 = 17,46351119 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 550 циклів випробувань складає 6,623134. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{6,623134}{9,31} \cdot 100 = 71,14 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 550 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 71,14 = 28,86 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35.

## Г.32

Таблиця Г.34

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44 текс після 600 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	7,67	-0,798	0,636804

## Продовження таблиці Г.34

2	6,15	0,722	0,521284
3	7,64	-0,768	0,589824
4	6,34	0,532	0,283024
5	6,68	0,192	0,036864
6	7,49	-0,618	0,381924
7	5,61	1,262	1,592644
8	7,69	-0,818	0,669124
9	6,57	0,302	0,091204
10	6,88	-0,008	6,4E-05
$\bar{x}$	<b>6,872</b>		<b>4,80276</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,80276}{9}} = 0,730506673$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,730506673 \cdot 2,26 = 1,650945082$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $5,221054918 <x> 8,522945082$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,650945082}{6,872642} \cdot 100 = 24,02422995 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 600 циклів випробувань складає 6,872642. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44 текс до в'язання – 9,31 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{6,872642}{9,31} \cdot 100 = 73,82 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 600 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 73,82 = 26,18 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.35

Таблиця Г.35

## Втрата міцності поліетиленової нитки 44 текс

№ пп	Кількість циклів, $N_{\text{ц}}$	Втрата міцності $B_{\text{міц}}, \%$
1	50,0	2,26
2	100,0	3,57
3	150,0	4,76
4	200,0	10,38
5	250,0	11,75
6	300,0	14,29

## Продовження таблиці Г.35

7	350,0	15,43
8	400,0	21,84
9	450,0	24,03
10	500,0	26,98
11	550,0	28,86
12	600,0	26,18

## Г.33

## Таблиця Г.36

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 10 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	21,62	0,156	0,024336
2	21,68	0,096	0,009216
3	21,64	0,136	0,018496
4	22,12	-0,344	0,118336
5	21,84	-0,064	0,004096
6	20,37	1,406	1,976836
7	22,38	-0,604	0,364816
8	22,11	-0,334	0,111556
9	21,64	0,136	0,018496
10	22,36	-0,584	0,341056
$\bar{x}$	<b>21,776</b>		<b>2,98724</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{2,98724}{9}} = 0,576121129$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,576121129 \cdot 2,26 = 1,302033752$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $20,47396625 < x < 23,07803375$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,302033752}{21,7764} \cdot 100 = 5,979214512 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 10 циклів випробувань складає 21,7764. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{10} = \frac{21,7764}{23} \cdot 100 = 94,68 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 10 циклів навантаження:

$$Y_{10} = 100 - 94,68 = 5,32 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.34

Таблиця Г.37

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 20 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	20,35	0,225	0,050625
2	21,68	-1,105	1,221025
3	21,35	-0,775	0,600625
4	19,57	1,005	1,010025
5	20,36	0,215	0,046225
6	21,92	-1,345	1,809025
7	20,35	0,225	0,050625
8	19,38	1,195	1,428025
9	21,64	-1,065	1,134225
10	19,15	1,425	2,030625
$\bar{x}$	<b>20,575</b>		<b>9,38105</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{9,38105}{9}} = 1,020949993$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 1,020949993 \cdot 2,26 = 2,307346985$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,26765302 < x > 22,88234698$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,307346985}{20,5758} \cdot 100 = 11,21432313 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 20 циклів випробувань складає 20,5758. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{20} = \frac{20,5758}{23} \cdot 100 = 89,46 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 20 циклів навантаження:

$$Y_{20} = 100 - 89,46 = 10,54 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

## Г.35

Таблиця Г.38

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 50 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	20,34	-0,26	0,0676
2	19,35	0,73	0,5329
3	20,36	-0,28	0,0784
4	20,18	-0,1	0,01
5	19,67	0,41	0,1681
6	19,66	0,42	0,1764
7	20,24	-0,16	0,0256
8	20,12	-0,04	0,0016
9	20,55	-0,47	0,2209
10	20,33	-0,25	0,0625
$\bar{x}$	<b>20,08</b>		<b>1,344</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1,344}{9}} = 0,386436713$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,386436713 \cdot 2,26 = 0,873346972$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $19,20665303 <x> 20,95334697$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{0,873346972}{20,0882} \cdot 100 = 4,349337509 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 50 циклів випробувань складає 20,0882. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{50} = \frac{20,0882}{23} \cdot 100 = 87,34 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 50 циклів навантаження:

$$Y_{50} = 100 - 87,34 = 12,66 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

## Г.36

Таблиця Г.39

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 100 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	18,39	0,198	0,039204
2	17,36	1,228	1,507984

## Продовження таблиці Г.39

3	18,43	0,158	0,024964
4	19,47	-0,882	0,777924
5	19,32	-0,732	0,535824
6	18,67	-0,082	0,006724
7	18,55	0,038	0,001444
8	17,67	0,918	0,842724
9	18,65	-0,062	0,003844
10	19,37	-0,782	0,611524
$\bar{x}$	<b>18,588</b>		<b>4,35216</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,35216}{9}} = 0,695394373$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,695394373 \cdot 2,26 = 1,571591282$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $17,01640872 <x> 20,15959128$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,571591282}{18,5886} \cdot 100 = 8,454870249 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 100 циклів випробувань складає 18,5886. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{100} = \frac{18,5886}{23} \cdot 100 = 80,82 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 100 циклів навантаження:

$$Y_{100} = 100 - 80,82 = 19,18 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

## Г.37

## Таблиця Г.40

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 150 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	18,88	-0,444	0,197136
2	18,64	-0,204	0,041616
3	19,64	-1,204	1,449616
4	18,27	0,166	0,027556
5	17,36	1,076	1,157776
6	18,21	0,226	0,051076
7	19,11	-0,674	0,454276

Продовження таблиці Г.40

8	18,65	-0,214	0,045796
9	17,55	0,886	0,784996
10	18,05	0,386	0,148996
$\bar{x}$	<b>18,436</b>		<b>4,35884</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,35884}{9}} = 0,695927838$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,695927838 \cdot 2,26 = 1,572796914$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $16,86320309 < x < 20,00879691$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,572796914}{18,4368} \cdot 100 = 8,531117995 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 150 циклів випробувань складає 18,4368. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{150} = \frac{18,4368}{23} \cdot 100 = 80,16 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 150 циклів навантаження:

$$Y_{150} = 100 - 80,16 = 19,84 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.38

Таблиця Г.41

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 200 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	17,98	0,001	0,000001
2	16,67	1,311	1,718721
3	19,68	-1,699	2,886601
4	17,72	0,261	0,068121
5	16,95	1,031	1,062961
6	18,93	-0,949	0,900601
7	18,76	-0,779	0,606841
8	17,96	0,021	0,000441
9	18,71	-0,729	0,531441
10	16,45	1,531	2,343961
$\bar{x}$	<b>17,981</b>		<b>10,11969</b>



Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{10,11969}{9}} = 1,060382007$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 1,060382007 \cdot 2,26 = 2,396463335$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $15,58453666 <x> 20,37746334$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,396463335}{17,9814} \cdot 100 = 13,32775338 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 200 циклів випробувань складає 17,9814. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{200} = \frac{17,9814}{23} \cdot 100 = 78,18 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 200 циклів навантаження:

$$Y_{200} = 100 - 78,18 = 21,82 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

**Г.39**

Таблиця Г.42

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 250 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	17,64	0,858	0,736164
2	18,49	0,008	0,000064
3	19,35	-0,852	0,725904
4	17,64	0,858	0,736164
5	17,36	1,138	1,295044
6	19,65	-1,152	1,327104
7	18,94	-0,442	0,195364
8	18,78	-0,282	0,079524
9	18,97	-0,472	0,222784
10	18,16	0,338	0,114244
$\bar{x}$	<b>18,498</b>		<b>5,43236</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{5,43236}{9}} = 0,776914124$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,776914124 \cdot 2,26 = 1,755825919$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $16,74217408 < x < 20,25382592$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,755825919}{18,4989} \cdot 100 = 9,491977076 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 250 циклів випробувань складає 18,4989. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{250} = \frac{18,4989}{23} \cdot 100 = 80,43 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 250 циклів навантаження:

$$Y_{250} = 100 - 80,43 = 19,57 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

**Г.40**

Таблиця Г.43

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 300 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	19,94	0,424	0,179776
2	21,35	-0,986	0,972196
3	20,98	-0,616	0,379456
4	20,36	0,004	0,000016
5	21,35	-0,986	0,972196
6	20,39	-0,026	0,000676
7	19,67	0,694	0,481636
8	20,64	-0,276	0,076176
9	19,44	0,924	0,853776
10	19,52	0,844	0,712336
$\bar{x}$	<b>20,364</b>		<b>4,62824</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,62824}{9}} = 0,71711149$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,71711149 \cdot 2,26 = 1,620671967$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,74332803 <x> 21,98467197$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,620671967}{20,3642} \cdot 100 = 7,958514865\%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 300 циклів випробувань складає 20,3642. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{300} = \frac{20,3642}{23} \cdot 100 = 88,54\%$$

Розраховуємо втрату міцності після 300 циклів навантаження:

$$Y_{300} = 100 - 88,54 = 11,46\%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.41

Таблиця Г.44

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 400 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	22,36	-0,007	0,000049
2	21,66	0,693	0,480249
3	23,26	-0,907	0,822649
4	23,68	-1,327	1,760929
5	23,49	-1,137	1,292769
6	23,57	-1,217	1,481089
7	21,25	1,103	1,216609
8	22,84	-0,487	0,237169
9	20,38	1,973	3,892729
10	21,04	1,313	1,723969
$\bar{x}$	<b>22,353</b>		<b>12,90821</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{12,90821}{9}} = 1,197599915$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 1,197599915 \cdot 2,26 = 2,706575807$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $19,64642419 <x> 25,05957581$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,706575807}{22,3537} \cdot 100 = 12,10833359\%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 400 циклів випробувань складає 22,3537. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{400} = \frac{22,3537}{23} \cdot 100 = 97,19 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 400 циклів навантаження:

$$Y_{400} = 100 - 97,19 = 2,81 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.42

Таблиця Г.45

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 500 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	21,35	0,267	0,071289
2	22,65	-1,033	1,067089
3	21,95	-0,333	0,110889
4	20,37	1,247	1,555009
5	21,39	0,227	0,051529
6	22,38	-0,763	0,582169
7	20,48	1,137	1,292769
8	21,33	0,287	0,082369
9	21,69	-0,073	0,005329
10	22,58	-0,963	0,927369
$\bar{x}$	<b>21,617</b>		<b>5,74581</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{5,74581}{9}} = 0,799013976$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,799013976 \cdot 2,26 = 1,805771585$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $19,81122841 <x> 23,42277159$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,805771585}{21,6177} \cdot 100 = 8,353479137\%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 500 циклів випробувань складає 21,6177. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{500} = \frac{21,6177}{23} \cdot 100 = 93,99 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 500 циклів навантаження:

$$Y_{500} = 100 - 93,99 = 6,01 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.43

Таблиця Г.46

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 600 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	22,54	-1,691	2,859481
2	21,36	-0,511	0,261121
3	19,39	1,459	2,128681
4	20,21	0,639	0,408321
5	20,39	0,459	0,210681
6	20,42	0,429	0,184041
7	21,55	-0,701	0,491401
8	20,3	0,549	0,301401
9	21,55	-0,701	0,491401
10	20,78	0,069	0,004761
$\bar{x}$	<b>20,849</b>		<b>7,34129</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{7,34129}{9}} = 0,9031605$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:  $\Delta x = 0,9031605 \cdot 2,26 = 2,04114273$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,80785727 <x> 22,89014273$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,04114273}{20,8495} \cdot 100 = 9,790122932 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 600 циклів випробувань складає 20,8495. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{600} = \frac{20,8495}{23} \cdot 100 = 90,65 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 600 циклів навантаження:

$$Y_{600} = 100 - 90,65 = 9,35 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.44

Таблиця Г.47

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 700 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	19,65	1,107	1,225449
2	19,55	1,207	1,456849

Продовження таблиці Г.47

3	20,26	0,497	0,247009
4	21,88	-1,123	1,261129
5	21,94	-1,183	1,399489
6	20,84	-0,083	0,006889
7	20,99	-0,233	0,054289
8	20,47	0,287	0,082369
9	21,55	-0,793	0,628849
10	20,44	0,317	0,100489
$\bar{x}$	<b>20,757</b>		<b>6,46281</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{6,46281}{9}} = 0,847401912$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,847401912 \cdot 2,26 = 1,915128321$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,84187168 < x < 22,67212832$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,915128321}{20,7575} \cdot 100 = 9,226421547 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 700 циклів випробувань складає 20,7575. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{700} = \frac{20,7575}{23} \cdot 100 = 90,25 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 700 циклів навантаження:

$$Y_{700} = 100 - 90,25 = 9,75 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

**Г.45**

Таблиця Г.48

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 800 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	20,36	0,291	0,084681
2	21,65	-0,999	0,998001
3	21,68	-1,029	1,058841
4	19,64	1,011	1,022121
5	20,81	-0,159	0,025281
6	21,67	-1,019	1,038361
7	19,05	1,601	2,563201
8	19,67	0,981	0,962361

## Продовження таблиці Г.48

9	21,34	-0,689	0,474721
10	20,64	0,011	0,000121
$\bar{x}$	<b>20,651</b>		<b>8,22769</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{8,22769}{9}} = 0,956131674$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:  $\Delta x = 0,956131674 \cdot 2,26 = 2,160857583$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,49014242 < x > 22,81185758$

з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,160857583}{20,6517} \cdot 100 = 10,46369465 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 800 циклів випробувань складає 20,6517. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{800} = \frac{20,6517}{23} \cdot 100 = 89,79 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 800 циклів навантаження:

$$Y_{800} = 100 - 89,79 = 10,21 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.46

Таблиця Г.49

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 900 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	19,56	0,537	0,288369
2	20,45	-0,353	0,124609
3	21,74	-1,643	2,699449
4	19,87	0,227	0,051529
5	20,84	-0,743	0,552049
6	19,68	0,417	0,173889
7	18,68	1,417	2,007889
8	20,72	-0,623	0,388129
9	20,48	-0,383	0,146689
10	18,95	1,147	1,315609
$\bar{x}$	<b>20,097</b>		<b>7,74821</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{7,74821}{9}} = 0,927853556$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,927853556 \cdot 2,26 = 2,096949038$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,00005096 <x> 22,19394904$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,096949038}{20,0974} \cdot 100 = 10,43413961 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 900 циклів випробувань складає 20,0974. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{900} = \frac{20,0974}{23} \cdot 100 = 87,38 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 900 циклів навантаження:

$$Y_{900} = 100 - 87,38 = 12,62 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.47

Таблиця Г.50

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 1000 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	19,64	0,089	0,007921
2	18,94	0,789	0,622521
3	20,16	-0,431	0,185761
4	19,67	0,059	0,003481
5	18,94	0,789	0,622521
6	19,04	0,689	0,474721
7	20,77	-1,041	1,083681
8	20,97	-1,241	1,540081
9	19,84	-0,111	0,012321
10	19,32	0,409	0,167281
$\bar{x}$	<b>19,729</b>		<b>4,72029</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{4,72029}{9}} = 0,724207613$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 0,724207613 \cdot 2,26 = 1,636709205$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $18,09229079 <x> 21,36570921$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.



Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,636709205}{19,7294} \cdot 100 = 8,295956233 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 1000 циклів випробувань складає 19,7294. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{1000} = \frac{19,7294}{23} \cdot 100 = 85,78 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 1000 циклів навантаження:

$$Y_{1000} = 100 - 85,78 = 14,22 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

**Г.48**

Таблиця Г.51

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 1100 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	а, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	18,64	0,084	0,007056
2	19,37	-0,646	0,417316
3	18,89	-0,166	0,027556
4	17,64	1,084	1,175056
5	18,94	-0,216	0,046656
6	19,64	-0,916	0,839056
7	18,72	0,004	0,000016
8	17,64	1,084	1,175056
9	18,55	0,174	0,030276
10	19,21	-0,486	0,236196
$\bar{x}$	<b>18,724</b>		<b>3,95424</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{3,95424}{9}} = 0,662842364$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:  $\Delta x = 0,662842364 \cdot 2,26 = 1,498023743$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $17,22597626 < x < 20,22202374$

з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{1,498023743}{18,7243} \cdot 100 = 8,000554067 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 1100 циклів випробувань складає 18,7243. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{1100} = \frac{18,7243}{23} \cdot 100 = 81,41 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 1100 циклів навантаження:

$$Y_{1100} = 100 - 81,41 = 18,59 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Г.49

Таблиця Г.52

Розривальне навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс після 1200 циклів циклічних навантажень «розтягування–вигин–тертя»

№ пп	a, кгс	$\bar{x} - a = X$	$X^2$
1	16,94	0,942	0,887364
2	18,64	-0,758	0,574564
3	17,94	-0,058	0,003364
4	18,65	-0,768	0,589824
5	17,65	0,232	0,053824
6	16,94	0,942	0,887364
7	16,82	1,062	1,127844
8	20,64	-2,758	7,606564
9	17,78	0,102	0,010404
10	16,82	1,062	1,127844
$\bar{x}$	<b>17,882</b>		<b>12,86896</b>

Середньоквадратичною помилкою середнього арифметичного називається величина  $S_{\bar{x}}$  та визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{12,86896}{9}} = 1,195777757$$

Задавшись надійністю  $P = 0,95$ , за таблицею коефіцієнтів Стьюдента для десяти вимірів знаходимо  $t = 2,26$ . Абсолютну помилку знаходимо за формулою:

$$\Delta x = 1,195777757 \cdot 2,26 = 2,702457731$$

Кінцевий результат має вигляд  $a \pm \Delta x$  (при  $P = 0,95$ ), тобто істинне значення вимірюваної величини  $x$  лежить в довірчому інтервалі  $15,17954227 <x> 20,58445773$  з ймовірністю  $P$ , що становить 95%.

Відносна похибка результату вимірювань:

$$\varepsilon = \frac{2,702457731}{17,882} \cdot 100 = 15,11272638 \%$$

Таким чином, середнє значення  $\bar{x}$  для 1200 циклів випробувань складає 17,8825. При цьому навантаження на поліетиленову нитку 44Х3 текс до в'язання – 23 кгс. Тому коефіцієнт використання міцності складає:

$$K_{1200} = \frac{17,8825}{23} \cdot 100 = 77,75 \%$$

Розраховуємо втрату міцності після 1200 циклів навантаження:

$$Y_{1200} = 100 - 77,75 = 22,25 \%$$

Результати розрахунків вносимо до таблиці Г.53.

Таблиця Г.53

## Втрата міцності поліетиленової нитки 44Х3 текс

№ пп	Кількість циклів, $N_{ц}$	Втрата міцності $V_{міц}, \%$
1	10	5,32
2	20	10,54
3	50	12,66
4	100	19,18
5	150	19,84
6	200	21,82
7	250	19,57
8	300	11,46
9	400	2,81
10	500	6,01
11	600	9,35
12	700	9,75
13	800	10,21
14	900	12,62
15	1000	14,22
16	1100	18,59
17	1200	22,25

## ДОДАТОК Д

Д.1

Розрахунок кореляційної залежності втрати міцності параарамідних ниток 58,8 від дії циклічних навантажень мовою опису математичних виразів

Eqn  $y=a+bx+cx^2+d/x$

r <sup>2</sup>	Coef Det	DF	Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	F-value
0.9937787753	0.9910137865	0.6222836005	532.46684868		

Parm	Value	Std Error	t-value	95% Confidence Limits		P> t
a	36.74121062	3.254978256	11.28769772	29.48866711	43.99375414	0.00000
b	-0.30914458	0.051661349	-5.98405943	-0.42425324	-0.19403592	0.00013
c	0.001980288	0.000231309	8.561218231	0.001464899	0.002495677	0.00001
d	-527.870957	53.96052759	-9.78253884	-648.102505	-407.639409	0.00000

Area Xmin-Xmax	Area Precision				
2519.2441639	1.36914e-11				
Function min	X-Value	Function max	X-Value		
4.9569285684	20.000038746	31.406862837	150.00000000		
1st Deriv min	X-Value	1st Deriv max	X-Value		
0.0731951311	64.357583823	1.0897393710	20.000038746		
2nd Deriv min	X-Value	2nd Deriv max	X-Value		
-0.128006396	20.000038746	0.0036477635	150.00000000		

Soln Vector	Covar Matrix				
GaussElim	LUDecomp				
r <sup>2</sup>	Coef Det	DF	Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	Max Abs Err
0.9937787753	0.9910137865	0.6222836005	0.8320358425		

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Statistic	P>F
Regr	618.5724	3	206.1908	532.467	0.00000
Error	3.8723688	10	0.38723688		
Total	622.44477	13			

Eqn  $y=a+bx+cx^2+d/x$ 

XY	* X Value	Y Value	Y Predict	Residual	Residual%	95% Confidence Limits		95% Prediction Limits		Weights
1	20.000000	5.1300000	4.9568863	0.1731137	3.3745352	3.6342290	6.2795437	3.0406662	6.8731065	1
2	30.000000	11.100000	11.653434	-0.553434	-4.985890	10.882991	12.423877	10.067224	13.239643	1
3	40.000000	14.860000	14.347114	0.5128858	3.4514521	13.579006	15.115222	12.762038	15.932191	1
4	50.000000	15.020000	15.677282	-0.657282	-4.376048	14.994944	16.359620	14.131947	17.222618	1
5	60.000000	16.990000	16.523723	0.4662768	2.7444193	15.938407	17.109039	15.018708	18.028739	1
6	70.000000	17.990000	17.263487	0.7265127	4.0384252	16.719664	17.807310	15.774118	18.752857	1
7	80.000000	18.050000	18.085100	-0.035100	-0.194461	17.524536	18.645664	16.589537	19.580663	1
8	90.000000	18.460000	19.093298	-0.633298	-3.430650	18.499331	19.687265	17.584897	20.601699	1
9	100.00000	19.770000	20.350923	-0.580923	-2.938404	19.743185	20.958661	18.837046	21.864799	1
10	110.00000	22.730000	21.897964	0.8320358	3.6605184	21.308259	22.487670	20.391236	23.404692	1
11	120.00000	23.130000	23.761083	-0.631083	-2.728417	23.203025	24.319140	22.266457	25.255708	1
12	130.00000	26.170000	25.958736	0.2112642	0.8072763	25.382930	26.534541	24.457393	27.460078	1
13	140.00000	28.910000	28.504106	0.4058935	1.4039901	27.774581	29.233632	26.937363	30.070850	1
14	150.00000	31.170000	31.406863	-0.236863	-0.759906	30.361072	32.452653	29.670155	33.143571	1

## Д.2

Розрахунок кореляційної залежності втрати міцності параарамідних ниток 58,8Х2 текс від дії циклічних навантажень мовою опису математичних виразів

Eqn  $y=a+bx+cx^2+d/x$ 

r <sup>2</sup>	Coef Det	DF	Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	F-value
0.9891532485	0.9457662427	1.2215772434	60.795667843		

Parm	Value	Std Error	t-value	95% Confidence Limits		P> t
a	10.13998307	12.59274599	0.805224140	-44.0422298	64.32219597	0.50520
b	0.073414818	0.093205050	0.787669961	-0.32761414	0.474443780	0.51342
c	-4.4861e-05	0.000195542	-0.22942095	-0.00088621	0.000796489	0.83987
d	-338.560542	446.1041506	-0.75892713	-2257.99178	1580.870699	0.52714

Area Xmin-Xmax	Area Precision	Function min	X-Value	Function max	X-Value
4738.3907462	1.647997e-13				

6.9273738000	50.000070561	26.998358534	300.00000000
1st Deriv min	X-Value	1st Deriv max	X-Value
0.0502597032	300.00000000	0.2043524964	50.000070561
2nd Deriv min	X-Value	2nd Deriv max	X-Value
-0.005506669	50.000070561	-0.000114802	300.00000000

Soln Vector	Covar Matrix
-------------	--------------

GaussElim	LUDecomp
-----------	----------

r <sup>2</sup> Coef Det	DF Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	Max Abs Err
0.9891532485	0.9457662427	1.2215772434	1.2756017903

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Statistic	P>F
Regr	272.16718	3	90.722394	60.7957	0.01623
Error	2.9845019	2	1.492251		
Total	275.15168	5			

Rank 2194 Eqn 2050  $y=a+bx+cx^2+d/x$

XY *	X Value	Y Value	Y Predict	Residual	Residual%	95% Confidence Limits		95% Prediction Limits		Weights
1	50.000000	7.020000	6.9273594	0.0926406	1.3196669	1.6828730	12.171846	-0.497626	14.352345	1
2	100.00000	13.080000	13.647244	-0.567244	-4.336731	8.9583392	18.336150	6.6036938	20.690795	1
3	150.00000	18.510000	17.885752	0.6242482	3.3724917	14.629498	21.142006	11.702794	24.068709	1
4	200.00000	21.940000	21.335684	0.6043160	2.7544027	17.629244	25.042124	14.904240	27.767128	1
5	250.00000	23.060000	24.335602	-1.275602	-5.531664	20.934901	27.736302	18.075367	30.595836	1
6	300.00000	27.520000	26.998359	0.5216415	1.8954995	21.987673	32.009044	19.736627	34.260090	1

### Д.3

Розрахунок кореляційної залежності втрати міцності поліетиленових ниток 44 текс від дії циклічних навантажень мовою опису математичних виразів

Eqn  $y=a+bx^{0.5}+cx+dx^{1.5}+ex^2+fx^{2.5}+gx^3+hx^{3.5}+ix^4$

XY *	X Value	Y Value	Y Predict	Residual	Residual%	95% Confidence Limits		95% Prediction Limits		Weights
1	50.000000	2.2600000	2.2744530	-0.014453	-0.639514	-2.614082	7.1629884	-4.639085	9.1879914	1
2	100.00000	3.5700000	3.3916024	0.1783976	4.9971312	-1.471329	8.2545340	-3.503855	10.287060	1
3	150.00000	4.7600000	5.4192346	-0.659235	-13.84947	0.9825785	9.8558907	-1.182519	12.020988	1
4	200.00000	10.380000	9.4957606	0.8842394	8.5186837	6.1440479	12.847473	3.5684329	15.423088	1
5	250.00000	11.750000	12.004780	-0.254780	-2.168344	8.6522512	15.357310	6.0769910	17.932570	1
6	300.00000	14.290000	14.019972	0.2700280	1.8896288	11.102319	16.937625	8.3268239	19.713120	1

7	350.00000	15.430000	16.832233	-1.402233	-9.087704	13.905568	19.758897	11.134461	22.530004	1
8	400.00000	21.840000	20.586969	1.2530311	5.7373217	17.722545	23.451393	14.920916	26.253022	1
9	450.00000	24.030000	24.441693	-0.411693	-1.713245	21.783614	27.099771	18.877107	30.006279	1
10	500.00000	26.980000	27.149426	-0.169426	-0.627968	24.425184	29.873668	21.552933	32.745918	1
11	550.00000	28.860000	27.623780	1.2362204	4.2835080	24.841835	30.405724	21.998973	33.248586	1
12	600.00000	26.180000	25.336869	0.8431314	3.2205172	22.693149	27.980588	19.779128	30.894610	1
13	650.00000	16.350000	20.519978	-4.169978	-25.50446	17.803745	23.236212	14.927380	26.112577	1
14	700.00000	15.400000	14.181039	1.2189610	7.9153310	11.241095	17.120983	8.4764353	19.885643	1
15	750.00000	11.210000	7.9666125	3.2433875	28.932984	5.1089446	10.824280	2.3039717	13.629253	1
16	800.00000	1.6100000	3.8976964	-2.287696	-142.0929	0.7516646	7.0437282	-1.915801	9.7111938	1
17	850.00000	4.0400000	4.0058432	0.0341568	0.8454654	0.2921987	7.7194877	-2.133407	10.145093	1
18	900.00000	10.100000	9.8920588	0.2079412	2.0588239	5.0946185	14.689499	3.0426304	16.741487	1

Eqn  $y=a+bx^{0.5}+cx+dx^{1.5}+ex^2+fx^{2.5}+gx^3+hx^{3.5}+ix^4$

r <sup>2</sup> Coef Det	DF Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	F-value
0.9685084121	0.9330803758	2.1610719631	34.598825818

Parm	Value	Std Error	t-value	95% Confidence Limits		P> t
a	-3593.44213	3498.294049	-1.02719842	-11507.1331	4320.248811	0.33114
b	1925.804061	1828.688986	1.053106393	-2210.97782	6062.585946	0.31974
c	-432.404652	401.4091427	-1.07721675	-1340.45522	475.6459150	0.30941
d	53.24585910	48.50655864	1.097704323	-56.4835999	162.9753181	0.30083
e	-3.93922347	3.541210670	-1.11239456	-11.9499986	4.071551606	0.29480
f	0.179608819	0.160416664	1.119639415	-0.18327889	0.542496523	0.29186
g	-0.00493554	0.004415392	-1.11780405	-0.01492385	0.005052768	0.29260
h	7.48284e-05	6.76781e-05	1.105652782	-7.827e-05	0.000227927	0.29756
i	-4.7989e-07	4.43248e-07	-1.08266403	-1.4826e-06	5.22807e-07	0.30711

Area Xmin-Xmax	Area Precision		
12209.014722	4.106873e-14		
Function min	X-Value	Function max	X-Value
3.1696637476	110.05517866	27.761376627	534.24175935
1st Deriv min	X-Value	1st Deriv max	X-Value
-0.131903706	697.57869783	-0.079783806	92.500000000
2nd Deriv min	X-Value	2nd Deriv max	X-Value
-0.093592016	50.000096766	0.0047147267	98.989276345

Soln Vector	Covar Matrix		
GaussElim	LUDecomp		
r <sup>2</sup> Coef Det	DF Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	Max Abs Err

0.9685084121	0.9330803758	2.1610719631	4.1699784559		
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Statistic	P>F
Regr	1292.6764	8	161.58454	34.5988	0.00001
Error	42.032088	9	4.670232		
Total	1334.7084	17			

Д.4

Розрахунок кореляційної залежності втрати міцності поліетиленових ниток 44ХЗ текс від дії циклічних навантажень мовою опису математичних виразів

Eqn	$y = a + bx^{0.5} + cx + dx^{1.5} + ex^2 + fx^{2.5} + gx^3 + hx^{3.5} + ix^4$									
XY	* X Value	Y Value	Y Predict	Residual	Residual%	95% Confidence Limits		95% Prediction Limits		Weights
1	10.000000	5.320000	5.0395815	0.2804185	5.2710254	0.6309551	9.4482078	-1.224604	11.303767	1
2	20.000000	10.540000	11.262348	-0.722348	-6.853397	7.1322758	15.392420	5.1909782	17.333718	1
3	50.000000	12.660000	11.858729	0.8012707	6.3291525	8.2063941	15.511064	6.1016825	17.615776	1
4	100.00000	19.180000	18.656648	0.5233516	2.7286322	15.450996	21.862301	13.172103	24.141194	1
5	150.00000	19.840000	22.546965	-2.706965	-13.64398	19.718998	25.374932	17.274258	27.819671	1
6	200.00000	21.820000	21.119843	0.7001573	3.2087868	18.473477	23.766208	15.942267	26.297418	1
7	250.00000	19.570000	16.753478	2.8165221	14.392040	14.253139	19.253817	11.648997	21.857959	1
8	300.00000	11.460000	11.858018	-0.398018	-3.473105	9.1732699	14.542766	6.6607198	17.055316	1
9	400.00000	2.8100000	5.5470382	-2.737038	-97.40350	2.6391551	8.4549214	0.2310416	10.863035	1
10	500.00000	6.0100000	5.1725511	0.8374489	13.934257	2.4169571	7.9281452	-0.061695	10.406797	1
11	600.00000	9.3500000	7.8070602	1.5429398	16.502030	4.9605997	10.653521	2.5244119	13.089709	1
12	700.00000	9.7500000	10.228605	-0.478605	-4.908772	7.5332447	12.923966	5.0258171	15.431393	1
13	800.00000	10.210000	11.285329	-1.075329	-10.53211	8.4917650	14.078892	6.0309939	16.539663	1
14	900.00000	12.620000	11.981487	0.6385133	5.0595351	9.0303252	14.932648	6.6416936	17.321280	1
15	1000.0000	14.220000	14.196204	0.0237962	0.1673434	11.287328	17.105079	8.8796643	19.512743	1
16	1100.0000	18.590000	18.620264	-0.030264	-0.162799	14.897034	22.343495	12.817982	24.422547	1
17	1200.0000	22.250000	22.265851	-0.015851	-0.071242	17.859819	26.671884	16.003491	28.528212	1

r <sup>2</sup> Coef Det	DF Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	F-value
0.9481556405	0.8814986068	1.9298198489	18.288501368

Parm	Value	Std Error	t-value	95% Confidence Limits	P> t
------	-------	-----------	---------	-----------------------	------



a	-158.316766	56.50214113	-2.80196048	-288.610937	-28.0225953	0.02313
b	125.0616632	41.41901799	3.019426081	29.54923653	220.5740898	0.01657
c	-36.7671053	11.75630862	-3.12743622	-63.8772016	-9.65700908	0.01407
d	5.571983264	1.718372119	3.242594083	1.609410057	9.534556470	0.01183
e	-0.47458969	0.143780755	-3.30078730	-0.80614870	-0.14303067	0.01085
f	0.023554617	0.007147342	3.295577087	0.007072816	0.040036417	0.01093
g	-0.00067572	0.000208408	-3.24229453	-0.00115631	-0.00019513	0.01184
h	1.03861e-05	3.28844e-06	3.158356512	2.80291e-06	1.79692e-05	0.01343
i	-6.6205e-08	2.16559e-08	-3.05712675	-1.1614e-07	-1.6266e-08	0.01565

Area Xmin-Xmax      Area Precision

15125.447912	6.305644e-13		
Function min	X-Value	Function max	X-Value
4.7402776718	454.64061286	22.631582278	158.89552399
1st Deriv min	X-Value	1st Deriv max	X-Value
-0.100261849	261.91335200	0.1452293487	69.500000000
2nd Deriv min	X-Value	2nd Deriv max	X-Value
0.0015544737	69.500000000	0.0062825365	42.070179584

Soln Vector

Covar Matrix

GaussElim	LUDecomp		
r <sup>2</sup> Coef Det	DF Adj r <sup>2</sup>	Fit Std Err	Max Abs Err
0.9481556405	0.8814986068	1.9298198489	2.8165221433

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Statistic	P>F
Regr	544.88097	8	68.110122	18.2885	0.00022
Error	29.793637	8	3.7242046		
Total	574.67461	16			

## ДОДАТОК Е

### Експериментально досліджена повітропроникність

1. Повітропроникність трикотажу переплетення гладь з параарамідної нитки 58,8x2 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{100 \cdot 7800}{36 \cdot 9,62} = 2\,252,25$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{100 \cdot 8005}{36 \cdot 9,62} = 2\,311,45$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{100 \cdot 8050}{36 \cdot 9,62} = 2\,324,44$$

2. Повітропроникність трикотажу переплетення гладь з поліетиленової нитки 44X3 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{100 \cdot 5600}{36 \cdot 9,62} = 1\,617$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{100 \cdot 5700}{36 \cdot 9,62} = 1\,645,88$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{100 \cdot 8150}{36 \cdot 9,62} = 2\,353,31$$

3. Повітропроникність трикотажу переплетення ластик з параарамідної нитки 58,8x2 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{100 \cdot 5\,006}{36 \cdot 9,62} = 1\,445,48$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{100 \cdot 6350}{36 \cdot 9,62} = 1\,833,56$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{100 \cdot 8000}{36 \cdot 9,62} = 2\,310$$

4. Повітропроникність трикотажу переплетення ластик з поліетиленової нитки 44Х3 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{100 \cdot 4490}{36 \cdot 9,62} = 1\,296,49$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{100 \cdot 5750}{36 \cdot 9,62} = 1\,660,31$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{100 \cdot 5100}{36 \cdot 9,62} = 1\,472,63$$

## ДОДАТОК Є

## Є.1

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для умовно-рівноважного стану трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідних ниток

```

*** Simulation CFD Summary File Output ***
Simulation CFD 2015 (Bowfin Prod) [20140225]
Job Name = Scenario 1   Date created: Thu Sep 17 12:02:32 2019
*** Analysis Information
Steady State is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON
*** Field Variable Results Summary For Iteration 100

  Var      Mean      at      Max      at      Min
Vx Vel  -4.36973e-003  212438 +9.61128e+000  212318 -7.84329e+000 m/s
Vy Vel  -1.35040e-001  114826 +1.05768e+001  211997 -2.35657e+001 m/s
Vz Vel  +3.58203e+000  212117 +2.88829e+001  171764 -5.54724e+000 m/s
Press  +1.01293e+005  40925 +1.02885e+005  40920 +1.00896e+005 N/m^2
Temp   +0.00000e+000  8619 +0.00000e+000  8617 +0.00000e+000 C
TurbK  +2.34884e+004  131799 +1.59581e+008  8617 +1.81700e-008 m^2/s^2
TurbD  +1.99548e+012  131799 +2.06364e+016  143277 +1.01134e-003 m^2/s^3
Scall  +0.00000e+000  8619 +0.00000e+000  8617 +0.00000e+000
PTotl  +1.01306e+005  40925 +1.02885e+005  40920 +1.00896e+005 N/m^2
EVisc  +1.39637e-004  138696 +8.19194e+000  9588 +0.00000e+000 kg/m-s
ECond  +1.09848e-001  138696 +4.77124e+003  9588 +0.00000e+000 W/m-K
Dens   +2.65277e+002  9588 +2.70700e+003  8617 +1.20473e+000 kg/m^3
Visc   +1.63281e-005  8619 +1.81700e-005  9588 +0.00000e+000 kg/m-s
Cond   +1.99169e+001  9588 +2.04000e+002  8617 +2.56300e-002 W/m-K
SpecH  +9.94262e+002  45482 +1.21000e+003  9588 +8.96000e+002 J/kg-K
Emiss  +8.98628e-001  8619 +1.00000e+000  9588 +0.00000e+000
Transmiss +0.00000e+000  0 +0.00000e+000  0 +0.00000e+000
WRough +0.00000e+000  8619 +0.00000e+000  8617 +0.00000e+000 m
SeeBeck +0.00000e+000  0 +0.00000e+000  0 +0.00000e+000 V/K
GenT   +1.07901e+007  10668 +1.46987e+011  9588 +3.16228e-002 1/s

```

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 804  
Node near Minimum X,Y,Z of opening = 1933  
Minimum X,Y,Z of opening = 0.947830, 0.233012, 0.100325

Mass Flow Out = -0.00280576 kg/s  
Volume Flow Out = -0.00232895 m^3/s  
Reynolds Number = 8976.18  
Outlet Bulk Pressure = 101276 N/m^2  
Outlet Bulk Temperature = -0 C  
Outlet Mach Number = 0.00775553

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по довжині трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідних НИТОК

\*\*\* CFD Summary File Output \*\*\*

CFD 2019 (2019) [20190802]

Job Name = Scenario 1 Date created: Thu Sep 17 21:32:15 2019

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON2

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 100

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	-8.34036e-03	45673	+2.54761e+00	54271	-2.46390e+00	m/s
Vy Vel	+1.07801e-03	43117	+2.71258e+00	77728	-2.39654e+00	m/s
Vz Vel	+9.95483e-01	113127	+7.32542e+00	60717	-1.00220e+00	m/s
Press	+1.01297e+05	2701	+1.01338e+05	14119	+1.01267e+05	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+00	1976	+0.00000e+00	40204	+0.00000e+00	C
TurbK	+4.61988e-01	63455	+2.47040e+03	1977	+1.81700e-08	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+2.29926e+05	11252	+4.36963e+09	100931	+1.77922e-02	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+00	1976	+0.00000e+00	40204	+0.00000e+00	
PTotl	+1.01296e+05	55461	+1.01342e+05	14119	+1.01267e+05	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+6.99873e-05	40829	+1.49992e-02	28871	+0.00000e+00	kg/m-s
ECond	+6.59330e-02	91030	+4.49408e+01	28871	+0.00000e+00	W/m-K
Dens	+2.48418e+02	28871	+2.70700e+03	40204	+1.20473e+00	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.63572e-05	1976	+1.81700e-05	28871	+0.00000e+00	kg/m-s
Cond	+1.86268e+01	28871	+2.04000e+02	40204	+2.56300e-02	W/m-K
SpecH	+9.95917e+02	15488	+1.21000e+03	28871	+8.96000e+02	J/kg-K
Emiss	+9.00233e-01	1976	+1.00000e+00	28871	+0.00000e+00	
Transmiss	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	
WRough	+0.00000e+00	1976	+0.00000e+00	40204	+0.00000e+00	m
SeeBeck	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	V/K
SHGC	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	
Ufactor	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	0	+0.00000e+00	
GenT	+3.17471e+04	3569	+1.44464e+08	28871	+3.16228e-02	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 626

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 11608

Minimum X,Y,Z of opening = 0.023405, 0.018868, 0.100324

Mass Flow Out	= -0.0028318612 kg/s
Volume Flow Out	= -0.0023506112 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 2476.19
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.00207686

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по ширині трикотажу переплетення гладь, виробленого з параарамідних НИТОК

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Sat May 02 18:16:19 2020

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Laminar Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 10

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	-9.01695e+000	12462	+6.35003e+003	18141	-5.57963e+003	mm/s
Vy Vel	-3.92381e+001	15874	+5.91079e+003	19756	-7.05613e+003	mm/s
Vz Vel	+5.00066e+003	27308	+1.40121e+004	26000	-8.43956e+003	mm/s
Press	-1.69632e+003	1828	-1.58257e+003	2127	-1.79273e+003	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	465	+0.00000e+000	5341	+0.00000e+000	C
TurbK	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	mm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	mm <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	465	+0.00000e+000	5341	+0.00000e+000	
PTotl	-1.68200e+003	1828	-1.58257e+003	2127	-1.79273e+003	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+0.00000e+000	465	+0.00000e+000	5341	+0.00000e+000	g/mm-s
ECond	+0.00000e+000	465	+0.00000e+000	5341	+0.00000e+000	W/mm-K
Dens	+5.66288e-004	5562	+2.70000e-003	5341	+1.20473e-006	g/mm <sup>3</sup>
Visc	+1.43655e-005	465	+1.81700e-005	5562	+0.00000e+000	g/mm-s
Cond	+3.77093e-002	5562	+1.80000e-001	5341	+2.56300e-005	W/mm-K
SpecH	+9.81387e-001	465	+1.00400e+000	5562	+8.96000e-001	J/g-K
Emiss	+7.90616e-001	465	+1.00000e+000	5562	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	465	+0.00000e+000	5341	+0.00000e+000	mm
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+7.97238e-001	465	+1.00000e+000	5562	+3.16228e-002	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 19

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 775

Minimum X,Y,Z of opening = 52.058562, 6.658587, 25.000000

Mass Flow Out	= -0.0028684982 kg/s
Volume Flow Out	= -0.0023810221 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 4225
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.0120392

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для умовно-рівноважного стану трикотажу переплетення гладь, виробленого з поліетиленових ниток

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Mon May 04 20:07:04 2020

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 10

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	-1.48906e-003	60190	+2.49730e+000	44458	-2.46143e+000	m/s
Vy Vel	-3.13246e-002	60121	+3.69003e+000	59642	-7.23458e+000	m/s
Vz Vel	+9.61508e-001	59641	+1.77035e+001	25450	-1.12291e-004	m/s
Press	+1.37445e+003	216	+6.12851e+004	224	-1.97378e+005	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	2086	+0.00000e+000	15450	+0.00000e+000	C
TurbK	+3.18075e-004	5972	+5.42609e-002	15450	+1.00000e-004	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+9.99919e-001	2086	+1.00000e+000	5972	+9.79975e-001	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	2086	+0.00000e+000	15450	+0.00000e+000	
PTotl	+1.24239e+003	216	+6.12851e+004	224	-1.97378e+005	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+1.62452e-003	2086	+1.81700e-003	6099	+0.00000e+000	kg/m-s
ECond	+2.29149e+000	2086	+2.56300e+000	6099	+0.00000e+000	W/m-K
Dens	+2.87101e+002	6099	+2.70000e+003	15450	+1.20473e+000	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.62452e-005	2086	+1.81700e-005	6099	+0.00000e+000	kg/m-s
Cond	+1.90912e+001	6099	+1.80000e+002	15450	+2.56300e-002	W/m-K
SpecH	+9.92559e+002	2086	+1.00400e+003	6099	+8.96000e+002	J/kg-K
Emiss	+8.94065e-001	2086	+1.00000e+000	6099	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	2086	+0.00000e+000	15450	+0.00000e+000	m
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+3.26868e+005	6014	+3.03197e+008	6099	+0.00000e+000	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 24

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 232

Minimum X,Y,Z of opening = 0.453738, 0.269109, 0.025000

Mass Flow Out	= -0.001904934 kg/s
Volume Flow Out	= -0.00158120731 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 1614.17
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.00180822

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по довжині трикотажу переплетення гладь, виробленого з поліетиленових НИТОК

```

*** Simulation CFD Summary File Output ***
Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]
Job Name = Scenario 1   Date created: Wed May 27 13:26:59 2020
*** Analysis Information
Steady State is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON
*** Field Variable Results Summary For Iteration 60

  Var      Mean      at      Max      at      Min
Vx Vel  -4.20035e-001  16179 +6.22581e+002  15531 -5.31535e+002 cm/s
Vy Vel  -3.97909e+000  15718 +1.61753e+003  15978 -9.32357e+002 cm/s
Vz Vel  +1.83034e+002  15351 +1.67356e+003  14360 -3.36835e+002 cm/s
Press  +1.01296e+006  2250 +1.01330e+006  3297 +1.01230e+006 dyne/cm^2
Temp   +0.00000e+000   36 +0.00000e+000   954 +0.00000e+000 C
TurbK  +4.07098e+003  15351 +5.49942e+004  4571 +1.81700e-007 cm^2/s^2
TurbD  +6.09480e+006   728 +2.62102e+008  16430 +2.25326e+003 cm^2/s^3
Scall  +0.00000e+000   36 +0.00000e+000   954 +0.00000e+000
PTotl  +1.01292e+006  16032 +1.01485e+006  3297 +1.01230e+006 dyne/cm^2
EVisc  +6.94258e-004   5255 +4.88271e-003   5274 +0.00000e+000 g/cm-s
ECond  +6.50443e-004   5255 +5.44172e-003   5274 +0.00000e+000 W/cm-K
Dens   +1.00862e+000   5274 +2.70000e+000   954 +1.20473e-003 g/cm^3
Visc   +1.13874e-004   36 +1.81700e-004   5274 +0.00000e+000 g/cm-s
Cond   +6.72072e-001   5274 +1.80000e+000   954 +2.56300e-004 W/cm-K
SpecH  +9.63685e-001   36 +1.00400e+000   5274 +8.96000e-001 J/g-K
Emiss  +6.26716e-001   36 +1.00000e+000   5274 +0.00000e+000
Transmiss +0.00000e+000   0 +0.00000e+000   0 +0.00000e+000
WRough +0.00000e+000   36 +0.00000e+000   954 +0.00000e+000 cm
SeeBeck +0.00000e+000   0 +0.00000e+000   0 +0.00000e+000 V/K
GenT   +1.87598e+003  16134 +2.85965e+004  5274 +3.16228e-002 1/s

```

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 2 \*\*\*

Surface ID = 20  
Node near Minimum X,Y,Z of opening = 956  
Minimum X,Y,Z of opening = 45.822054, 26.450680, 2.500000

Mass Flow Out = -0.0018566424 kg/s  
Volume Flow Out = -0.001541122311 m^3/s  
Reynolds Number = 1614.17  
Outlet Bulk Pressure = 101276 N/m^2  
Outlet Bulk Temperature = -0 C  
Outlet Mach Number = 0.00180822



## Є.6

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по ширині трикотажу переплетення гладь, виробленого з поліетиленових ниток

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Mon May 11 16:32:17 2020

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 10

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	-6.79206e-005	65653	+2.74484e+000	65602	-2.99056e+000	m/s
Vy Vel	-1.94298e-002	44190	+4.08360e+000	35892	-5.10507e+000	m/s
Vz Vel	+1.92816e+000	64669	+2.36041e+001	11135	-2.07072e-005	m/s
Press	+1.44580e+002	1896	+4.25085e+003	972	-1.51949e+004	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	1807	+0.00000e+000	1879	+0.00000e+000	C
TurbK	+2.61016e-004	5527	+5.42703e-002	1879	+1.00000e-004	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+1.00000e+000	5527	+1.00045e+000	1879	+1.00000e+000	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	1807	+0.00000e+000	1879	+0.00000e+000	
PTotl	-3.00414e+001	1896	+4.25085e+003	972	-1.51949e+004	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+1.64025e-003	1807	+1.81700e-003	5597	+0.00000e+000	kg/m-s
ECond	+2.31368e+000	1807	+2.56300e+000	5597	+0.00000e+000	W/m-K
Dens	+2.63733e+002	5597	+2.70000e+003	1879	+1.20473e+000	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.64025e-005	1807	+1.81700e-005	5597	+0.00000e+000	kg/m-s
Cond	+1.75328e+001	5597	+1.80000e+002	1879	+2.56300e-002	W/m-K
SpecH	+9.93494e+002	1807	+1.00400e+003	5597	+8.96000e+002	J/kg-K
Emiss	+9.02724e-001	1807	+1.00000e+000	5597	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	1807	+0.00000e+000	1879	+0.00000e+000	m
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+4.38903e+004	5461	+7.84926e+006	5597	+0.00000e+000	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 20

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 5417

Minimum X,Y,Z of opening = 0.458146, 0.264601, 0.025000

Mass Flow Out	= -0.00254208281 kg/s
Volume Flow Out	= -0.00211007811 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 3682.64
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.00471459

## Є.7

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по довжині трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідних НИТОК

```

*** Simulation CFD Summary File Output ***
Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]
Job Name = Scenario 1   Date created: Tue May 26 11:46:04 2020
*** Analysis Information
Steady State is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON
*** Field Variable Results Summary For Iteration 0

  Var      Mean      at      Max      at      Min
Vx Vel  -3.17048e-003  58017 +7.21098e+000  59989 -8.75186e+000 m/s
Vy Vel  -7.55973e-002  58429 +6.15450e+000  39561 -1.07577e+001 m/s
Vz Vel  +1.96693e+000  44384 +3.63446e+001  32906 -1.23437e+001 m/s
Press  +3.14383e+003  1865 +1.74198e+004  5840 -2.49807e+004 N/m^2
Temp  +0.00000e+000    9 +0.00000e+000  215 +0.00000e+000 C
TurbK  +3.23579e-004  5917 +5.42582e-002  57548 +1.00000e-016 m^2/s^2
TurbD  +9.99916e-001  57548 +1.00034e+000  5917 +9.79373e-001 m^2/s^3
Scall  +0.00000e+000    9 +0.00000e+000  215 +0.00000e+000
PTotl  +2.83815e+003  1865 +1.74198e+004  225 -2.49652e+004 N/m^2
EVisc  +1.63091e-003  34198 +3.74524e-003  22813 -7.06545e-004 kg/m-s
ECond  +2.30050e+000  34198 +5.28291e+000  22813 -9.96628e-001 W/m-K
Dens  +2.81393e+002  6267 +2.70000e+003  215 +1.20473e+000 kg/m^3
Visc  +1.62836e-005    9 +1.81700e-005  6267 +0.00000e+000 kg/m-s
Cond  +1.87105e+001  6267 +1.80000e+002  215 +2.56300e-002 W/m-K
SpecH  +9.92787e+002    9 +1.00400e+003  6267 +8.96000e+002 J/kg-K
Emiss  +8.96180e-001    9 +1.00000e+000  6267 +0.00000e+000
Transmiss +0.00000e+000    0 +0.00000e+000    0 +0.00000e+000
WRough +0.00000e+000    9 +0.00000e+000  215 +0.00000e+000 m
SeeBeck +0.00000e+000    0 +0.00000e+000    0 +0.00000e+000 V/K
GenT  +8.96180e-001    9 +1.00000e+000  6267 +0.00000e+000 1/s

```

```

*** Openings ***

```

```

  ** Outlet 1 ***

```

```

Surface ID = 23
Node near Minimum X,Y,Z of opening = 233
Minimum X,Y,Z of opening = 0.451085, 0.268253, 0.025000

```

```

Mass Flow Out           = -0.0017842509 kg/s
Volume Flow Out         = -0.00148103312 m^3/s
Reynolds Number         = 3725.26
Outlet Bulk Pressure    = 101276 N/m^2
Outlet Bulk Temperature = -0 C
Outlet Mach Number      = 0.00438679

```

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по довжині трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідних НИТОК

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Fri May 29 16:04:09 2020

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 0

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	+5.99542e-004	62092	+6.37863e+000	60778	-5.68444e+000	m/s
Vy Vel	-1.37567e-003	63065	+1.10090e+001	17193	-1.06287e+001	m/s
Vz Vel	+1.23462e+000	62850	+4.18409e+001	45398	-1.07837e+001	m/s
Press	+4.63072e+003	45040	+1.24066e+004	61729	-2.37342e+003	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	5796	+0.00000e+000	5502	+0.00000e+000	C
TurbK	+3.17703e-004	1048	+1.27747e-001	5080	+1.00000e-016	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+1.00032e+000	1048	+5.37205e+000	6114	+9.78863e-001	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	5796	+0.00000e+000	5502	+0.00000e+000	
PTotl	+4.15461e+003	45040	+1.24066e+004	61729	-2.37342e+003	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+1.62273e-003	46650	+1.86504e-003	6287	+0.00000e+000	kg/m-s
ECond	+2.28897e+000	46650	+2.63076e+000	6287	+0.00000e+000	W/m-K
Dens	+2.88942e+002	6287	+2.70000e+003	5502	+1.20473e+000	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.62328e-005	5796	+1.81700e-005	6287	+0.00000e+000	kg/m-s
Cond	+1.92139e+001	6287	+1.80000e+002	5502	+2.56300e-002	W/m-K
SpecH	+9.92485e+002	5796	+1.00400e+003	6287	+8.96000e+002	J/kg-K
Emiss	+8.93383e-001	5796	+1.00000e+000	6287	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	5796	+0.00000e+000	5502	+0.00000e+000	m
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+8.93383e-001	5796	+1.00000e+000	6287	+0.00000e+000	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 25

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 1029

Minimum X,Y,Z of opening = 0.456893, 0.265372, 0.025000

Mass Flow Out	= -0.002242217 kg/s
Volume Flow Out	= -0.0018611723 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 2821.1
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.00207054

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по ширині трикотажу переплетення ластик, виробленого з параарамідних ниток

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Mon May 25 16:04:09 2019

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 0

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	+5.99542e-004	62092	+6.37863e+000	60778	-5.68444e+000	m/s
Vy Vel	-1.37567e-003	63065	+1.10090e+001	17193	-1.06287e+001	m/s
Vz Vel	+1.23462e+000	62850	+4.18409e+001	45398	-1.07837e+001	m/s
Press	+4.63072e+003	45040	+1.24066e+004	61729	-2.37342e+003	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	5796	+0.00000e+000	5502	+0.00000e+000	C
TurbK	+3.17703e-004	1048	+1.27747e-001	5080	+1.00000e-016	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+1.00032e+000	1048	+5.37205e+000	6114	+9.78863e-001	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	5796	+0.00000e+000	5502	+0.00000e+000	
PTotl	+4.15461e+003	45040	+1.24066e+004	61729	-2.37342e+003	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+1.62273e-003	46650	+1.86504e-003	6287	+0.00000e+000	kg/m-s
ECond	+2.28897e+000	46650	+2.63076e+000	6287	+0.00000e+000	W/m-K
Dens	+2.88942e+002	6287	+2.70000e+003	5502	+1.20473e+000	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.62328e-005	5796	+1.81700e-005	6287	+0.00000e+000	kg/m-s
Cond	+1.92139e+001	6287	+1.80000e+002	5502	+2.56300e-002	W/m-K
SpecH	+9.92485e+002	5796	+1.00400e+003	6287	+8.96000e+002	J/kg-K
Emiss	+8.93383e-001	5796	+1.00000e+000	6287	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	5796	+0.00000e+000	5502	+0.00000e+000	m
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+8.93383e-001	5796	+1.00000e+000	6287	+0.00000e+000	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 25

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 1029

Minimum X,Y,Z of opening = 0.456893, 0.265372, 0.025000

Mass Flow Out	= -0.0028140937 kg/s
Volume Flow Out	= -0.00233586311 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 2821.1
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.00207054

## E.10

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для умовно-рівноважного стану трикотажу переплетення ластик, виробленого з поліетиленових ниток

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Tue May 19 10:31:13 2020

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 10

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	-5.54791e-003	36094	+3.21981e+000	37161	-3.75080e+000	m/s
Vy Vel	-2.79683e-002	36415	+6.76305e+000	36525	-6.99099e+000	m/s
Vz Vel	+3.20116e+000	38094	+2.72236e+001	14993	-6.63644e-002	m/s
Press	+1.99981e+003	3860	+5.20788e+003	2944	-1.37258e+003	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	3607	+0.00000e+000	3689	+0.00000e+000	C
TurbK	+2.37705e-004	5338	+5.45572e-002	3689	+1.00000e-004	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+1.00045e+000	5338	+1.17631e+000	3689	+1.00000e+000	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	3607	+0.00000e+000	3689	+0.00000e+000	
PTotl	+1.68459e+003	3860	+5.20788e+003	2944	-1.37258e+003	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+1.50577e-003	3607	+1.81700e-003	5401	+0.00000e+000	kg/m-s
ECond	+2.12399e+000	3607	+2.56300e+000	5401	+0.00000e+000	W/m-K
Dens	+4.63470e+002	5401	+2.70000e+003	3689	+1.20473e+000	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.50577e-005	3607	+1.81700e-005	5401	+0.00000e+000	kg/m-s
Cond	+3.08527e+001	5401	+1.80000e+002	3689	+2.56300e-002	W/m-K
SpecH	+9.85501e+002	3607	+1.00400e+003	5401	+8.96000e+002	J/kg-K
Emiss	+8.28714e-001	3607	+1.00000e+000	5401	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	3607	+0.00000e+000	3689	+0.00000e+000	m
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+3.16228e-002	3607	+3.16228e-002	3689	+3.16228e-002	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 20

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 5319

Minimum X,Y,Z of opening = 0.458274, 0.264547, 0.025000

Mass Flow Out	= -0.0014216852 kg/s
Volume Flow Out	= -0.0011800823 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 3786.67
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.0086978

## Є.11

Фрагмент листа результатів випробування повітропроникності у програмному забезпеченні Autodesk CFD для максимально розтягнутого стану по довжині трикотажу переплетення ластик, виробленого з поліетиленових НИТОК

```

*** Simulation CFD Summary File Output ***
Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]
Job Name = Scenario 1   Date created: Mon May 04 20:07:04 2020
*** Analysis Information
Steady State is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON
*** Field Variable Results Summary For Iteration 10

  Var      Mean      at      Max      at      Min
Vx Vel  -1.48906e-003  60190 +2.49730e+000  44458 -2.46143e+000 m/s
Vy Vel  -3.13246e-002  60121 +3.69003e+000  59642 -7.23458e+000 m/s
Vz Vel  +9.61508e-001  59641 +1.77035e+001  25450 -1.12291e-004 m/s
Press  +1.37445e+003   216 +6.12851e+004   224 -1.97378e+005 N/m^2
Temp  +0.00000e+000  2086 +0.00000e+000  15450 +0.00000e+000 C
TurbK  +3.18075e-004  5972 +5.42609e-002  15450 +1.00000e-004 m^2/s^2
TurbD  +9.99919e-001  2086 +1.00000e+000   5972 +9.79975e-001 m^2/s^3
Scall  +0.00000e+000  2086 +0.00000e+000  15450 +0.00000e+000
PTotl  +1.24239e+003   216 +6.12851e+004   224 -1.97378e+005 N/m^2
EVisc  +1.62452e-003  2086 +1.81700e-003   6099 +0.00000e+000 kg/m-s
ECond  +2.29149e+000  2086 +2.56300e+000   6099 +0.00000e+000 W/m-K
Dens  +2.87101e+002  6099 +2.70000e+003  15450 +1.20473e+000 kg/m^3
Visc  +1.62452e-005  2086 +1.81700e-005   6099 +0.00000e+000 kg/m-s
Cond  +1.90912e+001  6099 +1.80000e+002  15450 +2.56300e-002 W/m-K
SpecH  +9.92559e+002  2086 +1.00400e+003   6099 +8.96000e+002 J/kg-K
Emiss  +8.94065e-001  2086 +1.00000e+000   6099 +0.00000e+000
Transmiss +0.00000e+000     0 +0.00000e+000     0 +0.00000e+000
WRough +0.00000e+000  2086 +0.00000e+000  15450 +0.00000e+000 m
SeeBeck +0.00000e+000     0 +0.00000e+000     0 +0.00000e+000 V/K
GenT  +3.26868e+005  6014 +3.03197e+008   6099 +0.00000e+000 1/s

```

```

*** Openings ***

```

```

*** Outlet 1 ***

```

```

Surface ID = 24
Node near Minimum X,Y,Z of opening = 232
Minimum X,Y,Z of opening = 0.453738, 0.269109, 0.025000

```

```

Mass Flow Out      = -0.0018230737 kg/s
Volume Flow Out    = -0.0015132583 m^3/s
Reynolds Number    = 1614.17
Outlet Bulk Pressure = 101276 N/m^2
Outlet Bulk Temperature = -0 C
Outlet Mach Number  = 0.00180822

```

## Є.12

Фрагмент листу результатів випробування програмного забезпечення  
Autodesk CFD для трикотажу переплетення ластик з поліетиленових ниток  
максимально розтягнутому стані по ширині

\*\*\* Simulation CFD Summary File Output \*\*\*

Simulation CFD 2014 (Cardinal Release) [20130301]

Job Name = Scenario 1 Date created: Sun May 11 16:28:28 2020

\*\*\* Analysis Information

Steady State is ON

Turbulent Incompressible Flow is ON

\*\*\* Field Variable Results Summary For Iteration 10

Var	Mean	at	Max	at	Min	
Vx Vel	-4.73699e-003	60190	+5.37099e+000	44458	-5.97082e+000	m/s
Vy Vel	-7.43765e-002	60121	+8.72093e+000	59642	-1.54797e+001	m/s
Vz Vel	+2.29665e+000	59641	+3.80950e+001	33751	-2.91753e-002	m/s
Press	+2.92790e+003	4366	+3.24799e+005	224	-4.51440e+005	N/m <sup>2</sup>
Temp	+0.00000e+000	2086	+0.00000e+000	15450	+0.00000e+000	C
TurbK	+3.19741e-004	5972	+5.42609e-002	60756	+1.00000e-016	m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
TurbD	+9.99919e-001	58645	+1.00106e+000	5972	+9.79975e-001	m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>
Scall	+0.00000e+000	2086	+0.00000e+000	15450	+0.00000e+000	
PTotl	+2.44583e+003	4366	+3.24799e+005	224	-4.51440e+005	N/m <sup>2</sup>
EVisc	+1.62375e-003	15333	+4.10324e-003	23300	-1.16838e-003	kg/m-s
ECond	+2.29041e+000	15333	+5.78790e+000	23300	-1.64808e+000	W/m-K
Dens	+2.87101e+002	6099	+2.70000e+003	15450	+1.20473e+000	kg/m <sup>3</sup>
Visc	+1.62452e-005	2086	+1.81700e-005	6099	+0.00000e+000	kg/m-s
Cond	+1.90912e+001	6099	+1.80000e+002	15450	+2.56300e-002	W/m-K
SpecH	+9.92559e+002	2086	+1.00400e+003	6099	+8.96000e+002	J/kg-K
Emiss	+8.94065e-001	2086	+1.00000e+000	6099	+0.00000e+000	
Transmiss	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	
WRough	+0.00000e+000	2086	+0.00000e+000	15450	+0.00000e+000	m
SeeBeck	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	0	+0.00000e+000	V/K
GenT	+8.94065e-001	2086	+1.00000e+000	6099	+0.00000e+000	1/s

\*\*\* Openings \*\*\*

\*\*\* Outlet 1 \*\*\*

Surface ID = 24

Node near Minimum X,Y,Z of opening = 232

Minimum X,Y,Z of opening = 0.453738, 0.269109, 0.025000

Mass Flow Out	= -0.001628024 kg/s
Volume Flow Out	= -0.0013513556 m <sup>3</sup> /s
Reynolds Number	= 4012.34
Outlet Bulk Pressure	= 101276 N/m <sup>2</sup>
Outlet Bulk Temperature	= -0 C
Outlet Mach Number	= 0.00620067

## ДОДАТОК Ж

### Повітропроникність, визначена з використанням програми Autodesk Simulation CFD

1. Повітропроникність трикотажу переплетення гладь з параарамідної нитки 58,8x2 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{2,32895 \cdot 10000}{9,62} = 2\,317$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{2,35061 \cdot 10000}{9,62} = 2\,443,46$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{2,381022 \cdot 10000}{9,62} = 2\,475,07$$

2. Повітропроникність трикотажу переплетення гладь з поліетиленової нитки 44X3 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{1,5812073 \cdot 10000}{9,62} = 1643,67$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{1,54112231 \cdot 10000}{9,62} = 1602$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{2,110078 \cdot 10000}{9,62} = 2193,43$$

3. Повітропроникність трикотажу переплетення ластик з параарамідної нитки 58,8x2 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2\cdot\text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{1,481033 \cdot 10000}{9,62} = 1539,53$$

- максимальний розтяг по довжині



$$Q = \frac{1,8611723 \cdot 10000}{9,62} = 1934,69$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{2,335863 \cdot 10000}{9,62} = 2428,13$$

4. Повітропроникність трикотажу переплетення ластик з поліетиленової нитки 44Х3 текс  $Q$ ,  $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ :

- умовно– рівноважний стан

$$Q = \frac{1,1800823 \cdot 10000}{9,62} = 1226,7$$

- максимальний розтяг по довжині

$$Q = \frac{1,5132583 \cdot 10000}{9,62} = 1573,03$$

- максимальний розтяг по ширині

$$Q = \frac{1,35135566 \cdot 10000}{9,62} = 1404,74$$

## ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з наукової та інноваційної діяльності КНУТД



Л.М. Ганущак-Єфіменко

«14» серпня 2020 р.

## АКТ

### впровадження результатів дисертаційної роботи в освітній процес підготовки докторів філософії за спеціальністю 182 Технології легкої промисловості

Даний акт складено в тому, що результати дисертаційної роботи Безсмертної Вікторії Ігорівни на тему «Удосконалення технології виготовлення з високоміцних ниток кулірного трикотажу з прогнозованими властивостями» використано в курсі «3D моделювання у текстильному виробництві», яка викладається аспірантам другого року навчання, що проходять підготовку відповідно до освітньо-наукової програми «Технології легкої промисловості» за спеціальністю 182 «Технології легкої промисловості». Одержані в ході виконання дисертаційного дослідження матеріали використовуються при вивченні теми «Використання 3D моделей текстильних матеріалів та виробів у дослідженні їх споживних властивостей». Крім того, тривимірні моделі трикотажних полотен, побудовані для проведення віртуального експерименту з визначення повітропроникності, використовуються при виконанні практичних робіт. Зокрема при виконанні практичної роботи №7 на тему «Моделювання процесу проходження повітря у програмі Autodesk CFD Simulation» для демонстрації можливостей роботи в інтегрованому програмному середовищі та закріплення навичок роботи у тривимірному комп'ютерному просторі.

Зав. кафедри технології та дизайну  
текстильних матеріалів  
д.т.н., проф.

Л.Є. Галавська

Лектор з дисципліни  
«3D моделювання у текстильному  
виробництві»  
к.т.н., доц.

Т. В. Єліна



## АКТ

анробації у виробничих умовах  
результатів дисертаційної роботи «Удосконалення технології виготовлення  
з високоміцних ниток колірного трикотажу з прогнозованими властивостями»  
Безмертної Вікторії Ігорівни

Науково-технічна комісія у складі представників виробництва ЦНТ «Софія»: директора ЦНТ Чаюна В.Г., заступника директора Людвиченко Т.Г., технолога трикотажного виробництва Піскун В.І Київського національного університету технологій та дизайну; аспірантки кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів Безмертної В.І. склали цей акт у тому, що в умовах трикотажного виробництва ЦНТ «Софія» впроваджено результати наукової роботи Безмертної Вікторії Ігорівни.

Види використаних результатів:

- структури та заправки високоміцного колірного трикотажу, виробленого з високоміцних ниток;
- рекомендації щодо нормалізації процесу в'язання високоміцного трикотажу;
- комп'ютерна програма тривимірного геометричного моделювання структури трикотажу, виробленого з високоміцних ниток;
- комп'ютерна програма інженерного проектування колірного трикотажу, виробленого з високоміцних параарамідних та поліестіленових ниток, з прогнозованими параметрами та характеристиками втрати міцності ниток у процесі в'язання;

Внаслідок анробації результатів наукової роботи Безмертної В.І. розроблено новий асортимент високоміцних трикотажних полотен для виготовлення засобів індивідуального захисту, які мають задані параметри структури та характеристики втрати міцності ниток у процесі їх переробки на в'язальному обладнанні. Завдяки використанню розроблених комп'ютерних програм заощаджено сировину на проведення низки експериментальних досліджень для виявлення параметрів в'язання, що забезпечують вироблення трикотажу з прогнозованими властивостями. Це у свою чергу дозволило знизити собівартість погонного метра полотна та скоротити час на розробку й впровадження у виробництво нового асортименту трикотажу технічного призначення.

Економічний ефект досягається за рахунок зменшення кількості експериментальних досліджень при розробці нового асортименту високоміцних трикотажних полотен з прогнозованими властивостями внаслідок використання розроблених комп'ютерних засобів проектування і оцінюється економією сировинних, енергетичних і людських ресурсів на їх виконання та відповідно зниженням собівартості продукції.



Комісія вважає, що запропонована удосконалена технологія виготовлення кулірного трикотажу з високоміцних параарамідних та поліестіленових ниток забезпечує одержання трикотажних полотен з прогнозованими параметрами та характеристиками втрати міцності ниток у процесі в'язання.

Даний акт на дас підстав для будь-яких грошових випадат і розрахунків.

Розробник:



В.І. Безмертна

Заступник директора ПП «Софія»



Т.Г. Людвиченко

Технолог трикотажного виробництва



Піскун В.