

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА ДИЗАЙНУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КИРИЧЕНКО АНТОН МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 677.017

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТКИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ
МАШИН ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ НА ОСНОВІ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАТЯГУ

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

_____ А.М. Кириченко

Науковий керівник Щербань Володимир Юрійович, лауреат Державної премії
України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Кириченко А.М. Удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу. - 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, 2021.

Дисертація присвячена удосконаленню існуючих методів та засобів дослідження умов переробки ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру при виготовленні трикотажних полотен для одягу з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей сировини, особливостями геометричної форми пружної системи заправки ниток та конструкції її окремих структурних елементів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу.

Для досягнення зазначеної мети в роботі вирішені і виносяться на захист наступні завдання досліджень:

- аналіз досліджень у сфері удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах з урахуванням конструктивних особливостей її структурних елементів та змінного вхідного натягу і реальних фізико-механічних властивостей ниток, що переробляються;

- розробка системи диференціальних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни для отримання залежності вхідного натягу з урахування зміни вхідного натягу;

- отримання залежності для визначення приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тору;

- отримання залежності для визначення вихідного натягу для існуючих та удосконалених пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, зминання в зоні контакту;

- проведення досліджень, з використанням активного планування експерименту, для отримання залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору;

- удосконалити конструкції пристроїв для натягу нитки та компенсаторів, з урахуванням нерівномірності перетину ниток та пряжі та вхідного натягу;

- на основі використання рекурсивного підходу отримати системи рівнянь, які описують залежність натягу в зоні в'язання в залежності від конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки;

- на основі стабілізації натягу пряжі в робочій зоні, при формуванні трикотажного полотна, удосконалити систему подачі нитки на високопродуктивних круглов'язальних машинах компаній "Mayer&Cie", "Terrot", "Pailung", "Keum Yong" при переробці бавовняної пряжі з додаванням поліестеру та лайкри.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси переробки ниток на в'язальних машинах.

Предмет дослідження – система подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці науково обґрунтованих методів удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу. При цьому:

- на основі розв'язання системи диференційних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни отримані залежності вихідного натягу з урахування зміни вхідного натягу;

- на основі чисельного розв'язання трансцендентного рівняння, з використанням методу дихотомії, отримана залежність для визначення приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тору;

- отримані залежності для визначення вихідного натягу для існуючих та удосконалених пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, зминання в зоні контакту;

- на основі досліджень, з використанням активного планування експерименту, отримані регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору;

- на основі залежностей вихідного натягу нитки та пряжі при їх взаємодії з конструктивними елементами системи подачі нитки на в'язальних машинах великого діаметру, використовуючи рекурсивний підхід, отримані системи рівнянь, які описують залежність натягу в зоні в'язання в залежності від конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в тому, що:

- розроблена комп'ютерна програма для чисельного розв'язання системи трансцендентних рівнянь при визначенні вихідного натягу жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни з урахування зміни вхідного натягу;

- розроблена комп'ютерна програма для визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії комплексних ниток та пряжі з напрямними великої та малої кривизни у формі тора з урахуванням радіального охоплення нитки поверхнею напрямної;

- розроблені компенсатор натягу патент № 117290 (опубл. 26.06.2017, бюл.№ 12), нитконатягувач патент № 117289 (опубл. 26.06.2017, Бюл.№ 12);

- запропоновані удосконалені конструкції пристроїв для натягу нитки та компенсаторів, які, з урахуванням нерівномірності перетину ниток та пряжі та вхідного натягу, дозволяють зменшити нерівномірність натягу для пальцевого нитконатягувача з 7.8% до 2.5%, для шайбового нитконатягувача з 7.5% до 2.2%, пальцевого компенсатора з 68-83% до 10-14%, шайбового компенсатора з 71-88% до 8-12%;

- запропонована конструкція трубчатого компенсатора, використання якого дозволяє зменшити нерівномірність натягу більш ніж в два рази в порівнянні з шайбовим компенсатором.

Основні результати досліджень впровадили на ДП “Датський текстиль” при удосконаленні технологічних процесів в’язання трикотажних полотен з бавовняної пряжі з додаванням поліестеру та лайкри на високопродуктивних круглов’язальних машинах компаній “Mayer&Cie”, “Terrot”, “Pailung”, “Keum Yong” на основі стабілізації натягу пряжі в робочій зоні при формуванні трикотажного полотна. Результати науково-дослідної роботи дозволили визначити величину технологічних зусиль виникаючих у нитках та пряжі при її переробці в робочій зоні круглов’язальних машин, що дозволило зменшити величину натягу до мінімально необхідного. Це дозволило отримати технологічний ефект: знизити обривність ниток та пряжі на 4-12% та підвищити показники якості трикотажних полотен на 10-15% за рахунок зменшення вирізки дефектних ділянок та стабілізації петельної форми. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів науково-дослідної роботи за рахунок зниження обривності та підвищення якості трикотажних полотен по ДП “Датський текстиль” складає 192 тис. грн. на рік.

Окремі положення, висновки та рекомендації, представлені в дисертаційному дослідженні, знайшли практичне застосування в освітньому процесі Київського національного університету технологій та дизайну на кафедрі комп'ютерних наук та технологій в дисциплінах «CAD/CAM/CAE системи легкої промисловості», «Автоматизоване проектування виробничих процесів», «Математичне моделювання об'єктів макро і мікрорівня».

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 2–5.

Другий розділ присвячений розробці системи диференційних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни для отримання залежності вихідного натягу з урахування зміни вхідного натягу та отриманні залежності для визначення приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тора. Представлений опис математичного, алгоритмічного забезпечення комп'ютерних програм для чисельного розв'язання системи трансцендентних рівнянь при визначенні вихідного натягу жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни з урахування зміни вхідного натягу та визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії комплексних ниток та пряжі з напрямними великої та малої кривизни у формі тора з урахуванням радіального охоплення нитки поверхнею напрямної.

Третій розділ присвячений аналізу умов взаємодії структурних елементів системи подачі з нитками та отриманні залежності для визначення вихідного

натягу для існуючих пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, змінання в зоні контакту. Запропоновані удосконалені конструкції пристроїв для натягу нитки та компенсаторів та проведений аналіз їх роботи.

Четвертий розділ присвячений результатам експериментальних досліджень. Наведено обґрунтування вибору сировини та тензометричного обладнання (датчики, підсилювач, осцилограф, блоки живлення). З використанням активного планування експерименту отримані регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору.

П'ятий розділ присвячений удосконаленню системи подачі нитки на високопродуктивних круглов'язальних машинах з використанням рекурсивного підходу. На основі використання залежностей вихідного натягу нитки та пряжі при їх взаємодії з конструктивними елементами системи подачі нитки на в'язальних машинах великого діаметру, отримані системи рівнянь, які описують залежність натягу в зоні в'язання в залежності з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки.

Публікації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження відображено у 25 наукових працях, серед яких 7 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародної науко – метричної бази Scopus, 2 статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав, 4 статті у збірниках матеріалів міжнародної конференції, 6 статей у іншому виданні України, 3 тези доповідей та 2 патенти України. 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: якість полотна, дефекти полотна, стабілізація структури полотна, нитка, пряжа, натяг, система подачі нитки, натягувач нитки, компенсатор натягу, круглов'язальна машина великого діаметру.

ANNOTATION

Kyrychenko A.M. Improvement of the Thread Feeding System of Large Diameter Circular Knitting Machines based on Strain Stabilization. – Qualification paper as manuscript.

Thesis for obtaining the degree of Doctor of Philosophy according to Field of knowledge 18: Production and technologies, specialization 182: Light industry technologies. – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2021.

The thesis is dedicated to improvement of the existing methods and means of studying the conditions of thread processing on large diameter circular knitting machines in production of jersey fabric for clothes with account of the actual physical and mechanical properties of the raw material, peculiarities of the geometric shape of the elastic thread feeder system and of the structure of its separate constituent elements.

Objective and task of the research. The objective of the thesis is improvement of the thread feeding system of large diameter circular knitting machines based on strain stabilization.

To achieve the stated objective, the following research tasks were resolved and brought for defence:

- analysis of research in the field of thread feeding system of circular knitting machines with account of the structural peculiarities of their constituent elements and of the variable incoming strain, as well as of the actual physical and mechanical properties of processed thread;

- development of a system of differential equations to describe the conditions of interaction of a variable cross-section hard-bent thread, which is crumpled in the contact zone, with larger and lesser curvature guiding surfaces for obtaining dependence of the outgoing strain with account of the change in the incoming strain;

- obtaining dependence for determining the reduced friction ratio, such dependence to take account of the radial embrace of thread with the guide rail;
- obtaining dependence for determining the incoming strain for the existing and improved thread straining devices and compensators with account of the uneven cross-section diameter, uneven incoming strain, bending and crushing stiffness in the contact zone;
- conducting research using active planning of experiment, for obtaining dependence of strain of complex thread and yarn as functions of the thread feeding system constituent elements' parameters, incoming strain, radial and normal embrace angles in the contact zone with high and low curvature guide rails;
- improvement of the structure of thread strain devices with account of the uneven cross-section of thread and yarn and uneven incoming strain;
- based on the recursive method, obtaining the systems of equations, which describe the dependence of strain in the knitting zone from the structural parameters of the constituent elements of the thread feeding system, with account of the change in the cross-section, radial embrace in the contact zone, angles of embrace at entry and exit points, and of the law of change of the incoming strain and the physical and mechanical properties of thread;
- based on stabilization of yarn strain in the working zone during jersey fabric formation, improvement of the thread feeding system on the "Mayer&Cie", "Terrot", "Pailung", "Keum Yong" high performance circular knitting machines during processing of cotton yarn with polyester and lycra addition.

The object of the research comprises the technological processes of thread processing on knitting machines.

The subject of the research is the thread feeding system on large diameter circular knitting machines.

The scientific novelty of the received results lies in development of scientifically justified methods of improvement of the thread feeding system of large diameter circular knitting machines based on strain stabilization. In this case:

- based on a system of differential equations, which describes the conditions of interaction of a variable cross-section hard-bent thread, which is crumpled in the contact zone, with larger and lesser curvature guiding surfaces, the dependences of the outgoing strain with account of the change in the incoming strain were obtained;

- based on numeric resolution of a transcendental equation using the dichotomy method, the dependence for definition of the reduced friction ratio was obtained, taking account of the radial embrace of thread with the guide rail;

- dependences were obtained for determining the incoming strain for the existing and improved thread straining devices and compensators with account of the uneven cross-section diameter, uneven incoming strain, bending and crushing stiffness in the contact zone;

- based on the research using active planning of experiment, regressive dependences of strain of complex thread and yarn as functions of the thread feeding system constituent elements' parameters, incoming strain, radial and normal embrace angles in the contact zone with high and low curvature guide rails, were obtained;

- based on the dependences of the thread and yarn incoming strain during their interaction with the structural elements of the thread feeding system on large diameter feeding machines, using the recursive method, systems of equations were obtained, which describe the dependence of strain in the knitting zone from the structural parameters of the constituent elements of the thread feeding system, with account of the change in the cross-section, radial embrace in the contact zone, angles of embrace at entry and exit points, and of the law of change of the incoming strain and the physical and mechanical properties of thread.

The **practical value of the work results obtained** lies in the following:

- a computer software was developed for numeric resolution of a system of transcendental equations when determining the incoming strain of a hard-bent thread of a variable cross-section, crumpled in the contact zone, with the large and small curvature guide surfaces with account of the incoming strain change;

- a computer software was developed for determining the reduced friction ratio in case of interaction of complex thread and yarn with high and low curvature guide rails, with account of the radial embrace of thread with the guide rail;

- the strain compensator, patent No 117290 (published on 26.06.2017, Newsletter No 12), and the thread tensioner, patent No 117289 (published on 26.06.2017, Newsletter No 12) were developed;

- improved structures were suggested for thread tensioner and compensators, thus allowing, with account of the uneven cross-section of thread and yarn, to reduce the unevenness of strain for the pin-type thread tensioner from 7.5% to 2.2%, of a pin-type compensator – from 68-83% to 10-14%, of a disk compensator – from 71-88% to 8-12%;

- a structure of a tubular compensator was suggested, the use of which allows reducing the unevenness of strain more than twice, compared with a disc compensator.

The main results of the research were implemented at “Danish Textile” SC in the course of improvement of the technological processes of knitting jersey fabrics from cotton yarn with addition of polyester and lycra on “Mayer&Cie”, “Terrot”, “Pailung”, “Keum Yong” high-performance large-diameter circular knitting machines, based on stabilization of yarn strain in the working zone during formation of jersey fabric. The results of the research work enabled to determine the value of technological forces appearing in thread and yarn in the course of their processing in the working zone of circular knitting machines, thus allowing to reduce the strain to the minimum necessary value. This enabled obtaining the technological effect: reduction of thread and yarn breakages by 4-12% and increase of jersey fabrics quality indicators by 10-15% due to decrease in cutting defective areas and stabilization of the loop shape. The expected economic effect from implementation of the results of the research through reduction of thread and yarn breakages and increase of jersey fabrics quality at “Danish Textile” SC comprises 192 thousand UAH per year.

Certain provisions, conclusions, and recommendations presented in the thesis, were implemented in practice in the educational process of Kyiv National University of Technologies and Design at the chair of computer sciences and technologies within

disciplines “CAD/CAM/CAE light industry systems”, “Automated design of production processes”, “Mathematical modeling of macro and micro level facilities”.

In the **introduction**, the relevance of the thesis topic is justified, the objective and tasks of the research are formulated. The scientific novelty and practical value of the obtained results are described. Information on work approbation and on the personal contribution of the author and publications is provided. The connection of the work with scientific programs and topics is indicated.

The **first** section sets out an overview of works on the topic of the thesis and also defines the field and the main tasks of the research.

The main provisions of the work are set out in sections 2-5.

The **second section** is dedicated to development of a system of differential equations, which describes the conditions of interaction of variable cross section hard-bent thread, crumpled in the contact zone, with high and low curvature guide surfaces for obtaining a dependence of the outgoing strain with account of the change in the incoming strain, and for obtaining dependence for determining the reduced friction ratio, which takes account of the radial embrace of thread with the surface of a guide rail. The description of the mathematical, algorithmic core of computer software for numeric solution of a system of transcendental equations when determining the incoming strain of a hard-bent thread of a variable cross-section, crumpled in the contact zone, with the large and small curvature guide surfaces with account of the incoming strain change, and of the software for determining the reduced friction ratio in case of interaction of complex thread and yarn with high and low curvature guide rails, with account of the radial embrace of thread with the guide rail.

The **third section** is dedicated to analysis of the conditions of interaction of the constituent elements of the thread feeding system with thread and the obtained dependences for determining the outgoing strain for the existing thread tensioner devices and compensators, with account of the uneven cross section diameter, uneven incoming strain, bending and crumpling stiffness in the contact zone. Improved structures of thread tensioner devices and compensators were proposed and their work was analyzed.

The **fourth section** is dedicated to the results of the experimental research. Justification of the choice of the raw material and tension-gauge equipment (sensor, amplifier, oscillograph, power supply unit) is provided. Based on active planning of experiment, regressive dependences of strain of complex thread and yarn as functions of the thread feeding system constituent elements' structural parameters, incoming strain, radial and normal embrace angles in the contact zone with high and low curvature guide rails, were obtained.

The **fifth section** is dedicated to improvement of the thread feeding system on high performance circular knitting machines, using the recursive approach. Based on the dependences of the thread and yarn outgoing strain during their interaction with the constituent elements of the thread feeding system on large diameter feeding machines, systems of equations were obtained, which describe the dependence of strain in the knitting zone from the structural parameters of the constituent elements of the thread feeding system, with account of the change in the cross-section, radial embrace in the contact zone, angles of embrace at entry and exit points, and of the law of change of the incoming strain and the physical and mechanical properties of thread.

Publications. The main provisions and results of the research are reflected in 25 research works, including 7 articles in specialized scientific editions of Ukraine and 1 article in a publication being part of the Scopus international scientometrical base, 2 articles in foreign scientific periodicals, 4 articles in anthologies of materials of international conferences, 6 articles in another edition of Ukraine, 3 report points and 2 Ukrainian patents. The scientific publications meet the requirements of clause 11 of the "Procedure of Holding Experiment on Awarding the Degree of Doctor of Philosophy" (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 6 March 2019 No 167).

Keywords: thread, yarn, strain, thread feeding system, thread tensioner, strain compensator, large diameter circular knitting machine.

Список публікацій здобувача

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав

1. Shcherban' V., Makarenko J., Melnyk G., Shcherban' Y., Petko A., Kirichenko A. Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guides/ V. Shcherban', J. Makarenko, G. Melnyk, Y. Shcherban', A. Petko, A. Kirichenko // *Fibres and Textiles*. – 2019. – volume 26 - № 4 – pp. 59-68 (Особистий внесок - проведення аналізу наукової літератури за напрямком досліджень, постановка завдань досліджень).

URL: http://vat.ft.tul.cz/2019/4/VaT_2019_4_8.pdf

2. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner/V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // *Intellectual Archive*, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10.- Number 2. – P. 18-23 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL:http://www.intellectualarchive.com/getfile.php?file=sfhAixEftIJ&orig_file=ScherbanV_IntellectualArchive_Rus.doc

3. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//*Intellectual Archive*, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – P. 22-26 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL: http://www.intellectualarchive.com/Journal_Files/IAJ_2017_01.pdf

Статті у фахових виданнях України

4. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин/ В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//*Вісник ХНУ*.- 2016.-№6(243). - с.18-21 (Особистий внесок - проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів).

URL : http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2016/2016_6

5. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько //Вісник ХНУ.- 2017.-№1(245). - с.83-86 (Особистий внесок - постановка експерименту, проведення експериментальних досліджень, статистична обробка результатів, формулювання висновків).

URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2017/2017_1

6. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2017.-№6(255). - С.23-27 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2017/2017_6

7. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№1 (257). - С.213-217 (Особистий внесок - проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів).

URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_1/

8. Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для визначення натягу ниток в робочій зоні технологічного обладнання/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 3(261). - С.7-11 (Особистий внесок - проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів).

URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_3/

9. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 2 (259). - С.12-16 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_2/

10. Щербань В.Ю. Удосконалення системи подачі ниток на основі оптимізації пружної системи заправки круглов'язальних машин/В.Ю.Щербань, Г.В. Мельник, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько //Вісник ХНУ.- 2018.- № 4 (263). - С.11-16 (Особистий внесок - проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів).

URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_4/

Опубліковані праці апробаційного характеру

11. Щербань В.Ю., Андрущенко В.В., Кириченко А.М. Алгоритмічні та програмні компоненти САПР пристрою на основі механізму Уата та його застосування в машинах легкої промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:КНУТД. - 2016. - С.19-22 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/5428>

12. Щербань В.Ю., Довгопол О.М., Кириченко А.М. Алгоритмічні та програмні компоненти САПР пристрою на основі механізму Еванса та його застосування в машинах легкої промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:КНУТД. - 2016. – С.24-27 (Особистий внесок - проведення експериментальних досліджень та узагальнення одержаних результатів).

URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/5450>

13. Кириченко А.М. Удосконалення конструкції нитконатягувачів снувальних машин на основі стабілізації/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2017. – С.17-20.

URL: <https://dropmefiles.com.ua/ru/cR9yUf5CDL>

14. Кириченко А.М. Математичні компоненти САПР спрямовувачів та робочих органів технологічного устаткування легкої та текстильної промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2018. - С.22-26.

URL: <https://dropmefiles.com.ua/ru/6P3cKyTGQ>

15. Кириченко А.М. Використання рекурсивного підходу для розрахунку натягу ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2019. – С.15-18.

URL: <https://dropmefiles.com.ua/ru/NPHcfx69mv>

16. Кириченко А.М. Математичне забезпечення при реалізації процесу стабілізації натягу / Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2020. – С.11-14.

URL: <https://dropmefiles.com.ua/ru/h93N7Zf>

Патенти на винахід

17. Патент 117290 UA, МКИ D05B 47/00/ Компенсатор натягу/ Щербань В.Ю., Мурза Н.І., Кириченко А.М., Колиско О.З., Шолудько М.І. (UA). – №у 2016 13188; заявл.23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл. N 12 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL : <https://uapatents.com/5-117290-kompensator-natyagu.html>

18. Патент 117289 UA, МКИ D05B 47/00/ Нитконатягувач/ Щербань В.Ю., Мурза Н.І., Кириченко А.М., Колиско О.З., Шолудько М.І. (UA). – №у 2016 13187;

заявл.23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл.№ 12 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL : <https://uapatents.com/4-117289-nitkonatyaguvach.html>

Тези доповідей

19. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Математичне моделювання нитконатягувачів снувальних машин з використанням трансцендентних рівнянь/ Тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 27-28 квітня 2017 року Том 2., - К. КНУТД, с. 37-38 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/7569>

20. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Математичне моделювання процесу взаємодії ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 26-27 квітня 2018 року. Том 2., - К. КНУТД, с. 55-56 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11072>

21. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для розрахунку натягу ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 18-19 квітня 2019 року. Том 2, ч. 1. - К. КНУТД, с. 74-75 (Особистий внесок - розробка ідеї, проведення експериментальних досліджень, моделювання процесу).

URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13740>

22. Кириченко А.М. Удосконалення конструкції пальцевого нитконатягувача на трикотажних машинах/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 15 червня 2017р.-К.:КНУТД, 2017. - С.36-38.

URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/6659>

23. Кириченко А.М. Визначення нерівномірності натягу компенсаторів текстильних машин/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 15 червня 2018р.-К.:КНУТД, 2018. - С.32-34.

URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/9675>

24. Кириченко А.М. Визначення натягу ниток на технологічному обладнанні з використання рекурсивного підходу/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 10 жовтня 2019р.-К.:КНУТД, 2019. - С.55-57.

URL : <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14590>

25. Кириченко А.М. Алгоритм оцінки ефективності роботи компенсаторів натягу нитки / Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції 22 жовтня 2020р.-К.:КНУТД, 2020. - С.112-113.

URL : <https://dropmefiles.com.ua/ru/6YGL8>

ЗМІСТ

Вступ		24
РОЗДІЛ 1	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	33
1.1	Аналіз робіт по дослідженню нерівномірності нитки по товщині	35
1.2	Вплив умов змотування нитки з бобіни на величину натягу у вершині балону	37
1.3	Аналіз факторів, які впливають на обривність ниток при їх переробці на технологічному устаткуванні	38
1.4	Дослідження умов роботи пристроїв для натягу на технологічних машинах	41
1.5	Дослідження умов роботи компенсаторів натягу технологічних машин	43
1.6	Дослідження процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями	44
1.7	Аналіз робіт по експериментальному дослідженню процесу взаємодії нитки з структурними елементами системи подачі	47
	Висновки по розділу 1. Постановка цілі та завдань дослідження	50
	Список використаних джерел до розділу 1	53
РОЗДІЛ 2	ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З НАПРАВЛЯЮЧИМИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ЇХ ФОРМИ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ	66
2.1	Геометричні, кінематичні та динамічні компоненти точок нитки при її взаємодії з напрямною великої кривизни	67
2.2	Взаємодія ниток з направляючими структурними	74

	елементами великої кривизни системи подачі нитки круглов'язальної машини	
2.3	Визначення приведенного коефіцієнту тертя для структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин у формі тора	80
2.4	Алгоритмічне та комп'ютерне програмне забезпечення для визначення натягу нитки після напрямної великої кривизни	84
2.5	Алгоритмічне та комп'ютерне програмне забезпечення для визначення приведенного коефіцієнту тертя для структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин у формі тора	90
	Висновки по розділу 2	95
	Список використаних джерел до розділу 2	96
РОЗДІЛ 3	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З ПРИСТРОЯМИ ДЛЯ НАТЯГУ ТА КОМПЕНСАТОРАМИ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН	98
3.1	Аналіз процесу взаємодії нитки з структурним елементом системи подачі ниток круглов'язальних машин у вигляді шайбового пристрою	99
3.2	Аналіз процесу взаємодії нитки з структурним елементом системи подачі ниток круглов'язальних машин у вигляді пальцьового пристрою	104
3.3	Математичне моделювання процесу взаємодії нитки з шайбовим компенсатором	107
3.4	Математичне моделювання процесу взаємодії нитки з пальцьовим компенсатором	112
3.5	Оцінка ефективності роботи компенсатора натягу з кільцями	115

Висновки по розділу 3	120
Список використаних джерел до розділу 3	121
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СПРЯМОВУЮЧИХ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТКИ НА ЇЇ НАТЯГ	123
4.1 Обґрунтування вибору вимірювальної та реєстрової апаратури. Розробка установок для проведення експерименту	124
4.2 Розробка планів проведення експерименту	128
4.3 Дослідження впливу конструктивних параметрів спрямовувачів нитки на її натяг	137
4.4 Дослідження впливу конструктивних параметрів пристроїв для натягу нитки на вихідний натяг	145
Висновки по розділу 4	150
Список використаних джерел до розділу 4	152
РОЗДІЛ 5 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТКИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ ТА ЇХ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	153
5.1 Удосконалення конструкції пальцевого пристрою для натягу нитки	153
5.2 Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами круглов'язальних машин	155
5.3 Ефективність роботи трубчатого компенсатора натягу в'язальних машин великого діаметру	161
5.4 Використання рекурсивного підходу для визначення натягу нитки в робочій зоні круглов'язальних машин	163
Висновки по розділу 5	174
Список використаних джерел до розділу 5	176

Загальні висновки

179

Додатки

182

ВСТУП

Збільшення випуску та підвищення якості продукції підприємствами трикотажної галузі України має проводитись на основі їх технічного переозброєння та реконструкції, модернізації обладнання, впровадження нових ресурсо- та енергоощадних, високопродуктивних технологічних процесів і засобів комплексної механізації технологічного устаткування.

Підвищення продуктивності технологічного обладнання трикотажної галузі нерозривно пов'язане зі зменшенням часу простоїв на ліквідацію обривів ниток. Обриви ниток та пряжі обумовлені низькою якістю вихідної сировини, недосконалістю технологічних процесів трикотажного виробництва, окремих вузлів і механізмів, пристроїв для натягу і компенсаторів для створення натягу нитки трикотажних машин, системи подачі нитки, пряжі і форми лінії заправки.

Актуальність теми. Удосконалення технологічного устаткування трикотажної галузі повинне вестись шляхом збільшення його продуктивності. Одним з напрямів підвищення продуктивності є зниження часу простою за рахунок ліквідації обривів ниток та пряжі. По кількості відмов обриви ниток та пряжі складають 77, 6%, а питомий час на їх ліквідацію складає 28,1% від загального часу простою з різних причин. Зменшення обривів дозволить додатково отримувати продукцію за рахунок зменшення відсотку вирізки дефектних ділянок.

Головними причинами виникнення обривності є низька якість ниток та пряжі, недосконалість технологічних процесів трикотажної галузі. Низька якість пряжі та ниток обумовлена виникненням в процесі їх виготовлення потовщень, слабких місць, шишок, скрутів, вузлів, нальотів, моховитості. Нерівномірність ниток та пряжі по діаметру призводить до нерівномірності питомого внутрішнього напруження в її перетинах, що призводить до обривів в місцях зі зменшеною площиною перетину. Нерівномірність натягу пряжі та ниток, яка обумовлена недосконалістю технологічних процесів трикотажної галузі, також призводить до порушення протікання технологічних процесів та обриву.

Недосконалість пристроїв для натягу нитки та компенсаторів натягу на трикотажних машинах, коливання вхідного натягу призводить до виникнення коливань натягу в зонах контакту з нерівномірною за діаметром ниткою, а це, в свою чергу, призводить до обриву.

Таким чином, виникає питання про удосконалення системи подачі нитки та пряжі при виконанні технологічних процесів в'язання на основі стабілізації натягу перед робочою зоною з урахуванням таких реальних властивостей нитки як нерівномірність діаметру перетину, жорсткість на згин, змінання в зоні контакту. Необхідно враховувати особливості взаємодії нитки та пряжі з пристроїв для натягу нитки та компенсаторами системи подачі нитки в'язальних машин. Це нерівномірність вхідного натягу нитки та пряжі, радіальне охоплення в зоні контакту, кути охоплення в точках входу та виходу пристроїв для натягу нитки та компенсаторів. При вирішенні цього складного питання, враховуючи його багатокритеріальність, необхідно буде розробити спеціальні алгоритми і відповідне програмне забезпечення для ЕОМ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до Концепції загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості до 2017 року, яка затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 09.07.2008 р №947-р і спрямована на удосконалення технологічних процесів трикотажної галузі на основі оптимізації конструкції системи подачі ниток та стабілізації натягу.

Дисертація виконувалася відповідно до фундаментальної держбюджетної тематики Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД) з науковими напрямками н/н 14 – Математичне та програмне забезпечення інформаційно-довідкових та експертних систем промисловості, сфери обслуговування та освіти, н/н 15 – Математичне та програмне забезпечення САПР обладнання та технологічних процесів текстильної швейної та взуттєвої промисловості, в рамках виконання договорів №0117U000772-14.3/17 – Удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах, №0117U000771 -14.2/17 – Математичні та програмні компоненти пристроїв для

натягу нитки машин легкої промисловості, №0117U000770 -14.1/17 – Математичні та програмні компоненти САПР спрямовувачів нитки машин легкої промисловості.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу.

Для досягнення зазначеної мети в роботі вирішені і виносяться на захист наступні завдання досліджень:

- аналіз досліджень у сфері удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах з урахуванням конструктивних особливостей її структурних елементів та змінного вхідного натягу і реальних фізико-механічних властивостей ниток, що переробляються;

- розробка системи диференційних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни для отримання залежності вихідного натягу з урахування зміни вхідного натягу;

- отримання залежності для визначення приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тору;

- отримання залежності для визначення вихідного натягу для існуючих та удосконалених пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, зминання в зоні контакту;

- проведення досліджень, з використанням активного планування експерименту, для отримання залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору;

- удосконалити конструкції пристроїв для натягу нитки та компенсаторів, з урахуванням нерівномірності перетину ниток та пряжі та вхідного натягу;

- на основі використання рекурсивного підходу отримати системи рівнянь, які описують залежність натягу в зоні в'язання в залежності від конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки;

- на основі стабілізації натягу пряжі в робочій зоні, при формуванні трикотажного полотна, удосконалити систему подачі нитки на високопродуктивних круглов'язальних машинах компаній "Mayer&Cie", "Pailung", "Keum Yong" при переробці натуральних та синтетичних комплексних ниток та пряжі.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси переробки ниток на в'язальних машинах.

Предмет дослідження – система подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Методи дослідження. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи інтегрального та диференційного числення, теорії алгоритмів, теоретичної механіки, теорії механізмів та машин, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах на кафедрі комп'ютерних наук та технологій та в умовах функціонування реального трикотажного виробництва.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в розробці науково обґрунтованих методів удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу. При цьому:

- на основі розв'язання системи диференційних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні

контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни отримані залежності вихідного натягу з урахування зміни вхідного натягу;

- на основі чисельного розв'язання трансцендентного рівняння, з використанням методу дихотомії, отримана залежність для визначення приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тору;

- отримані залежності для визначення вихідного натягу для існуючих та удосконалених пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, зминання в зоні контакту;

- на основі досліджень, з використанням активного планування експерименту, отримані регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору;

- на основі залежностей вихідного натягу нитки та пряжі при їх взаємодії з конструктивними елементами системи подачі нитки на в'язальних машинах великого діаметру, використовуючи рекурсивний підхід, отримані системи рівнянь, які описують залежність натягу в зоні в'язання в залежності від конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в тому, що:

- розроблена комп'ютерна програма для чисельного розв'язання системи трансцендентних рівнянь при визначенні вихідного натягу жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни з урахування зміни вхідного натягу;

- розроблена комп'ютерна програма для визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії комплексних ниток та пряжі з напрямними

великої та малої кривизни у формі тора з урахуванням радіального охоплення нитки поверхнею напрямної;

- розроблені компенсатор натягу патент № 117290 (опубл. 26.06.2017, бюл.№ 12), нитконатягувач патент № 117289 (опубл. 26.06.2017, Бюл.№ 12);

- запропоновані удосконалені конструкції пристроїв для натягу нитки та компенсаторів, які, з урахуванням нерівномірності перетину ниток та пряжі та вхідного натягу, дозволяють зменшити нерівномірність натягу для пальцевого нитконатягувача з 7.8% до 2.5%, для шайбового нитконатягувача з 7.5% до 2.2%, пальцевого компенсатора з 68-83% до 10-14%, шайбового компенсатора з 71-88% до 8-12%;

- запропонована конструкція трубчатого компенсатора, використання якого дозволяє зменшити нерівномірність натягу більш ніж в два рази в порівнянні з шайбовим компенсатором.

Основні результати досліджень впровадили на ДП “Датський текстиль” при удосконаленні технологічних процесів в’язання трикотажних полотен з бавовняної пряжі з додаванням поліестеру та лайкри на високопродуктивних круглов’язальних машинах компаній “Mayer&Cie”, “Terrot”, “Pailung”, “Keum Yong” на основі стабілізації натягу пряжі в робочій зоні при формуванні трикотажного полотна. Результати науково-дослідної роботи дозволили визначити величину технологічних зусиль виникаючих у нитках та пряжі при її переробці в робочій зоні круглов’язальних машин, що дозволило зменшити величину натягу до мінімально необхідного. Це дозволило отримати технологічний ефект: знизити обривність ниток та пряжі на 4-12% та підвищити показники якості трикотажних полотен на 10-15% за рахунок зменшення вирізки дефектних ділянок та стабілізації петельної форми. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів науково-дослідної роботи за рахунок зниження обривності та підвищення якості трикотажних полотен по ДП “Датський текстиль” складає 192 тис. грн. на рік.

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

процесі Київського національного університету технологій та дизайну на кафедрі комп'ютерних наук та технологій в дисциплінах «CAD/CAM/CAE системи легкої промисловості», «Автоматизоване проектування виробничих процесів», «Математичне моделювання об'єктів макро і мікрорівня».

Особистий внесок здобувача полягає у розробці математичних, алгоритмічних та комп'ютерних програмних компонентів при отриманні залежності вихідного натягу при розв'язанні системи диференціальних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни; при визначенні приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тору при чисельному розв'язанні трансцендентного рівняння, з використанням методу дихотомії; отримані залежності для визначення вихідного натягу для існуючих та удосконалених пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, зминання в зоні контакту; в отриманні системи рівнянь, з використанням рекурсивного підходу, які описують залежність натягу в зоні в'язання машин великого діаметру в залежності від конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки.

Авторові належать основні ідеї, узагальнення і виводи. У отриманих деклараційних патентах України претендент розробив конструкцію компенсатору натягу, нитконатягувача і сформулював формули винаходів. У статтях і тезах доповідей, виконаних із співавторами, особистий внесок претендента полягає в проведенні аналітичних і експериментальних досліджень, а також в обробці отриманих результатів дослідження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи обговорювалися і отримали позитивну оцінку на: XVI - XVIII Всеукраїнських наукових конференціях молодих вчених і студентів

Київського національного університету технологій та дизайну/Наукові розробки молоді на сучасному етапі (м. Київ, Україна, 2017-2019 рр.); XXIV Міжнародній українсько-польській науково-технічній конференції національного університету «Львівська політехніка»/САПР у проектуванні машин. Задачі впровадження і навчання(м. Львів, Україна, 2016 р.); I-IV Міжнародних науково-практичних конференції/Мехатронні системи: інновації та інжиніринг (м. Київ, Україна, 2017-2020 рр.); науково-методичних семінарах кафедри комп'ютерних наук та технологій Київського національного університету технологій та дизайну (м. Київ, Україна, 2017-2020 рр.); науково-методичному семінарі кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки Київського національного університету технологій та дизайну (м. Київ, Україна, 2019 р.).

Результати роботи впроваджено в навчальний процес і використовуються при викладанні дисциплін «CAD/CAM/CAE системи легкої промисловості», «Автоматизоване проектування виробничих процесів», «Математичне моделювання об'єктів макро і мікрорівня».

Дисертація доповідалась повністю і здобула позитивну оцінку на науковому семінарі з попередньої експертизи дисертації на базі кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів (м. Київ, 16.11.20 р.).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження відображено у 25 наукових працях, серед яких 7 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у виданні, яке входить до міжнародної науко – метричної бази Scopus, 2 статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав, 4 статті у збірниках матеріалів міжнародної конференції, 6 статей у іншому виданні України, 3 тези доповідей та 2 патенти України. Наукові публікації відповідають вимогам п. 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (Постанова 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 з вступу, п'яти розділів із висновками, загальних висновків, та чотирьох додатків. Основна частина дисертації надрукована на 159 сторінках друкованого тексту, включає 45 рисунків 21 таблицю, список використаних джерел з 149 найменувань і 48 сторінок додатків. Повний об'єм дисертації складає 229 сторінку.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Збільшення випуску та підвищення якості продукції підприємствами трикотажної галузі України має проводитись на основі їх технічного переозброєння та реконструкції, модернізації обладнання, впровадження нових ресурсо- та енергоощадних, високопродуктивних технологічних процесів і засобів комплексної механізації технологічного устаткування [1-7].

Робота по удосконаленню системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру виконувалася відповідно до Концепції загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості до 2017 року, яка затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 09.07.2008 р №947-р і спрямована на удосконалення технологічних процесів трикотажної галузі на основі оптимізації конструкції системи подачі ниток та стабілізації натягу[1, 2, 5, 6].

Дисертація виконувалася відповідно до фундаментальної держбюджетної тематики Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД) з науковими напрямками 14 – Математичне та програмне забезпечення інформаційно-довідкових та експертних систем промисловості, сфери обслуговування та освіти, 15 – Математичне та програмне забезпечення САПР обладнання та технологічних процесів текстильної швейної та взуттєвої промисловості, в рамках виконання договорів №0117U000772-14.3/17 – Удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах, №0117U000771 -14.2/17 – Математичні та програмні компоненти пристроїв для натягу нитки машин легкої промисловості, №0117U000770 -14.1/17 – Математичні та програмні компоненти САПР спрямовувачів нитки машин легкої промисловості.

Основна увага в цій роботі приділена аналізу існуючих і розробці нових методів з визначення розрахунку форми і натягу комплексних ниток та пряжі при переробці на круглов'язальних машинах великого діаметру [10-12]. Це припускає

удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу [7-8].

Удосконалення технологічного устаткування трикотажної галузі повинне вестися шляхом збільшення його продуктивності. Головними причинами виникнення обривності є низька якість ниток та пряжі [9-12], недосконалість технологічних процесів трикотажної галузі [8]. Низька якість пряжі та ниток обумовлена виникненням в процесі їх виготовлення потовщень, слабких місць, шишок, скрутів, вузлів, нальотів, моховитості. Нерівномірність ниток та пряжі по діаметру призводить до нерівномірності питомого внутрішнього напруження в її перетинах, що призводить до обривів в місцях зі зменшеною площиною перетину. Нерівномірність натягу пряжі та ниток [9-10], яка обумовлена недосконалістю технологічних процесів трикотажної галузі, також призводить до порушення протікання технологічних процесів та обриву.

Одним з напрямів підвищення продуктивності є зниження часу простою за рахунок ліквідації обривів ниток та пряжі [4-5].

Значний вклад в розвиток цих та суміжних питань внесли професори Моїсеєнко Ф.А., Васильченко В.М., Єфремов Є.Д., Мінаков А.П., Мігушов І.І., Щербань В.Ю. [1-12], Галавська Л.Є. [23-25], Здоренко В.Г. [1-4, 18, 22], Защепкіна Н.М. [18-22], Рябчиков М.Л. [15-17], Омельченко В.Д. [13, 14] к.т.н., доценти Мельник Л.М. [26-27], Колиско М.І. [3, 4], Мельник Г.В. [4], Калашник В.Ю. [3, 4] та інші.

Удосконалення системи подачі нитки та пряжі при виконанні технологічних процесів в'язання, на основі стабілізації натягу перед робочою зоною, повинне базуватися на дослідженні процесу взаємодії комплексних ниток та пряжі з напрямними з урахуванням таких реальних властивостей нитки як нерівномірність діаметру перетину [8], жорсткість на згин [3-4], зминання в зоні контакту [9-10]. Необхідно враховувати особливості взаємодії нитки та пряжі з пристроями для натягу нитки та компенсаторами системи подачі нитки в'язальних машин [11-12]. Це нерівномірність вхідного натягу нитки та пряжі, радіальне охоплення в зоні контакту, кути охоплення в точках входу та виходу

пристроїв для натягу нитки та компенсаторів [2-5]. При вирішенні цього складного питання, враховуючи його багатокритеріальність, необхідно буде розробити спеціальні алгоритми і відповідне програмне забезпечення для ЕОМ[1, 2, 5-7].

1.1. Аналіз робіт по дослідженню нерівномірності нитки по товщині

При порівнянні товщини ниток з різною щільністю γ доцільно використовувати показник товщини τ [32-34]

$$\tau = 1000S = \frac{T}{\gamma}, \quad (1.1)$$

T - лінійна щільність нитки;

S - площа поперечного перетину[28-30].

Зворотною характеристикою є показник тонини μ , $1/\text{мм}^2$.

$$\mu = \frac{1}{S} = \frac{1000}{\tau} = \frac{1000\gamma}{T}, \quad (1.2)$$

В таблиці 1.1 представлені порівняння різних характеристик товщини та тонини волокон та пряжі [28-30, 32-34].

Таблиця 1.1

Порівняння різних характеристик товщини та тонини волокон та пряжі

Нитка	Щільність γ , мг/мм ²	Лінійна щільність T , текс	Показник товщини τ , мм ²	Показник тонини μ , 1/мм ²
Волокно:				
віскозне	1.5	0.3	0.2	5000
ацетатне	1.3	0.3	0.23	4333
капронове	1.1	0.3	0.27	3667
Пряжа:				
бавовняна	1.5	60	40	25
лавсанова	1.4	56	40	25
вовняна	1.3	52	40	25

Аналіз графічної залежності товщини перетину комплексних ниток чи пряжі від довжини зразка показує, що цю функцію можна представити у вигляді гармонічного ряду з постійними коефіцієнтами [28-30].

Для визначення ординат $r(x)$ на графіку (рис.1.1.2) коливань товщини ниток використовують наступну залежність [31]

$$r(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n-x} (M_i - \bar{M})(M_{i+x} - \bar{M})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{n-x} (M_i - \bar{M})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^{n-x} (M_{i+x} - \bar{M})^2 \right]}}, \quad (1.3)$$

$$\text{де } \bar{M} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{n};$$

M_i - лінійна щільність(маса) окремих відрізків [31];

n - кількість відрізків.

На рис.1.2 представлені графіки коливань товщини ниток для різних законів зміни розмірів перетину комплексних ниток чи пряжі [28-30, 31].

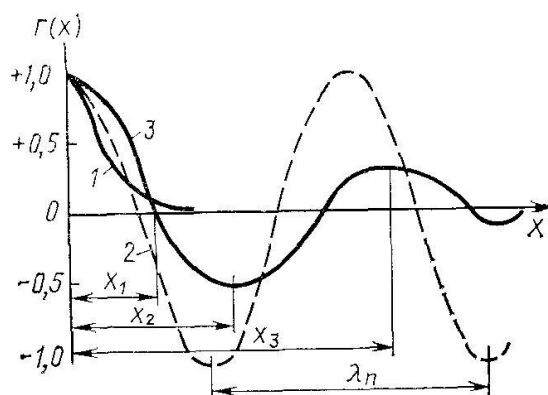


Рис.1.1. Графіки коливань товщини ниток для різних законів зміни розмірів перетину комплексних ниток чи пряжі: 1- нитка з випадковими коливаннями товщини; 2 – нитки з періодичними коливаннями товщини; 3 – нитки з випадковими та періодичними коливаннями товщини

Нерівномірність комплексних ниток чи пряжі по товщині є важливим показником якості, оскільки наявність нерівності товщини перетину викликає смугастість виробів і псує їх зовнішній вигляд [32-34]. Підвищена нерівномірність комплексних ниток чи пряжі знижує міцність волокон в пряжі або елементарних

ниток, за рахунок чого погіршуються механічні властивості комплексних ниток чи пряжі і підвищується їх обривність при в'язанні. Тому визначення нерівномірності входить в загальну якісну оцінку ниток найрізноманітніших видів [31].

1.2. Вплив умов змотування нитки з бобіни на величину натягу у вершині балону

Основним технологічним вимогам, які ставляться до подачі нитки в в'язальну систему трикотажної машини, є стабільність її натягу [9, 10]. Через неминучий перетяг нитки з уже сформованих петель в нові коливання натягу нитки викликає нерівномірність петельної структури трикотажу що виробляється [5, 6]. Крім того, бажано, щоб подача нитки протікала при мінімально можливому натягу. У цьому випадку буде знижена її обривність [35-38].

Нерівномірність натягу комплексних ниток чи пряжі, при переробці на круглов'язальних машинах великого діаметру виникає при змотуванні з бобіни. Незважаючи на велику кількість наукових робіт з дослідження натяжних приладів і регуляторів натягу нитки, до теперішнього часу мало вивченим є аналіз зміни діаметра бобіни за часом [10]. В процесі зменшення діаметра і збільшення швидкості змотування зростає нерівномірність натягу нитки [1, 2]. Дані процеси є дискретними і вимагають аналітичного обґрунтування у вигляді суворо певних функціональних залежностей, на підставі яких можна спрогнозувати подальшу зміну діаметра і, як наслідок, значення натягу нитки.

В роботі [2, 3] з урахуванням форми лінії заправки нитки, початкового натягу, висоти балону, кута нахилу витка до осі кінцевого пакування, коефіцієнту зчеплення між ниткою та поверхнею кінцевого пакування, коефіцієнту нерівномірності нитки по товщині, виду сировини та його структури визначена функціональна залежність між натягом текстильної нитки та діаметром кінцевого пакування на основі використання інтерполяційного поліному Ньютона [5].

Експериментальні дослідження показують, що при змотуванні натяг змінюється нерівномірно [9]. Свого максимуму він досягає, коли точка змотування

знаходиться на більшому торці бобіни. При переміщенні точки змотування до малого торця бобіни натяг зменшується. У малого торця бобіни відбувається зростання натягу при змотуванні [35].

Таким чином, натяг комплексних ниток чи пряжі, при змотуванні бобіни, змінюється за законом, який можна представляти у вигляді гармонічного ряду з постійними коефіцієнтами. Цю обставину необхідно враховувати при проектуванні нових чи удосконаленні існуючих систем подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

1.3. Аналіз факторів, які впливають на обривність ниток при їх переробці на технологічному устаткуванні

До основних причин, що викликають обривність комплексних ниток чи пряжі на технологічному обладнанні можна віднести: порушення технологічного режиму [41-44]; стан робочих органів технологічного обладнання [9]; величину натягу [10, 46-49]; якість ниток, наявність на них дефектних ділянок; умови багаторазового навантаження ниток основи [39, 40]; форму конструктивно-заправної лінії пружної системи заправки [9, 10, 45]; умови взаємодії ниток з робочими органами технологічного обладнання [1-6, 9, 41].

Зупинимося на аналізі зазначених причин обривності комплексних ниток чи пряжі на технологічному обладнанні. Порушення технологічного режиму є комплексним показником, який включає в себе розбалансування в роботі механізмів [2, 3], змінному значенні натягу ниток [9, 41].

Під станом робочих органів технологічного обладнання [9] мається на увазі деформації робочих поверхонь.

Якість обривності комплексних ниток чи пряжі і наявність на них дефектних ділянок зумовлено двома причинами. Перша полягає в наявності прядильних вад пороків та вад, що виникли у відділі підготовки і під час виконання технологічних операцій [10, 46-49]. Розподіл обривності комплексних ниток чи пряжі за дефектами поділяється наступним чином: слабка місце в пряжі 37,0%; потовщені місця, шишки 9,0%; не пропряди 2,3%; всього через прядильні вади 48,3%; великі вузли 19,3%; розв'язані вузли 4,0%; схід і вихід ниток 3,3%;

заклеєні нитки 2,6%; всього через вади, що виникли у відділі підготовки 29,2%; перехрещені нитки 5,7%; пух в спрямовувачах та пристроях натягу 6,6%; інші причини 10,2%; всього через вади, що виникли при виконанні технологічних операцій 22,5%.

Другою причиною, що призводить до погіршення якості комплексних ниток чи пряжі, є стирання [2, 10]. Багаторазове розтягнення з циклічною деформацією нижче межі витривалості не знижує міцності пряжі, але сприяє зменшенню її стійкості до стирання. Це явище починає спостерігатися вже при циклічній деформації 0,25% [3, 4], зі збільшенням величини відносної деформації зниження стійкості до стирання прискорюється [10].

Багаторазовий вплив з боку робочих органів призводить до стирання зовнішніх елементарних волокон, їх руйнування.

Враховуючи нерівномірну структуру обривності комплексних ниток чи пряжі (наявність слабких місць, потовщень) можна стверджувати, що при постійному натягу питоме навантаження в окремих перетинах буде мати різне значення [9, 10]. Це позначається на характеристиках міцності комплексних ниток чи пряжі і веде до їх зниження під впливом циклічних комплексних механічних навантажень.

Велике значення при вивченні обривності бавовняних і вовняних ниток відіграє можливість її прогнозування з використанням статистичних моделей на основі застосування нормального і логарифмічного нормального закону розподілу [2, 3]. У випадку, коли поряд з випадковими причинами на процес впливають систематичні причини (змінюється натяг обривності комплексних ниток чи пряжі), то відбувається порушення стійкості процесу та спотворення закону розподілу обривності [5, 6]. У результаті обробки експериментальних даних було встановлено, що нормальному закону підпорядковується розподіл циклічних характеристик, а логарифмічно нормальному закону підпорядковується розподіл багатоциклічних характеристик і показників стирання [9, 10].

Обривність ниток при переробці на технологічному устаткуванні пов'язана з недосконалістю системи подачі обривності комплексних ниток чи пряжі і її

складових елементів – пристроїв для натягу нитки, різних спрямовувачів, компенсаторів натягу. Найбільше число обривів випадає на зону розташування пристроїв для натягу обривність комплексних ниток чи пряжі [9, 41]. Дослідження впливу конструкції пристрою для натягу на умови його взаємодії з комплексними нитками чи пряжею, з урахування її реальних фізико-механічних властивостей, зокрема їх нерівномірністю по діаметру поперечного перетину мають важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції, що випускається[9].

Оскільки уникнути обривності при виробництві трикотажних полотен не представляється можливим, то її можна тільки знизити. Для цього слід проводити комплекс науково-технічних заходів щодо: поліпшення якості комплексних ниток чи пряжі на основі оптимізації її структури і властивостей на стадії переробки; забезпечити стабілізацію натягу комплексних ниток чи пряжі не допускаючи різких коливань натягу; здійснювати переробку комплексних ниток чи пряжі на технологічному обладнанні при мінімально допустимому натягу; підвищувати опірність комплексних ниток чи пряжі до різних впливів на технологічному обладнанні шляхом оптимізації процесів [9, 10, 41].

До причин обриву комплексних ниток чи пряжі відносяться порушення умов догляду за машиною, якість підготовки сировини. Крім того, характер умов переробки сировини на технологічному обладнанні супроводжується багаторазовими пульсуючими розтяганнями, втратами подовження [41]. Зниження міцності комплексних ниток чи пряжі, яке визначається до і після перетворення нитки у виріб, становить від 1 до 55% [5, 6]. Найбільше зниження міцності нитки відбувається в процесі в'язання [41]. Це пояснюється виникненням різних пошкоджень нитки як надрізи, обриви елементарних волокон, затяжки елементарних волокон, що викликано контактом нитки з поверхнею робочих органів трикотажних машин, які, у свою чергу, є наслідком наявності на останніх різних дефектів.

Обриви слід ділити на дві групи [2, 3]. До першої належать обриви, при яких комплексні нитки чи пряжа розривається після приладу для натягу. До другої відносяться обриви, коли комплексні нитки чи пряжа, під дією тих чи інших причин, обривається до приладу для натягу. Зазначається, що обриви відбуваються на ділянках ниток, які ослаблені на 85-90%.

В роботі [5, 6] встановлюється, що руйнування комплексних ниток чи пряжі відбуваються в областях з меншою впорядкованістю структури. Характер руйнувань істотно залежить від структури, анізотропії волокон. Руйнування характеризуються руйнуванням волокон.

При зменшенні довжини зразка комплексних ниток чи пряжі міцність на розрив збільшується [41], що пояснюється зменшенням числа ділянок з нерівномірною структурою.

Таким чином, узагальнюючи проведений вище аналіз літературних джерел можна стверджувати, що до основних причин, що викликають обривність можна віднести: порушення технологічного режиму; стан робочих органів; величину натягу комплексних ниток чи пряжі; якість комплексних ниток чи пряжі, наявність на них дефектних ділянок; умови багаторазового навантаження комплексних ниток чи пряжі; форму конструктивно-заправної лінії системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру; умови взаємодії комплексних ниток чи пряжі з робочими органами технологічного обладнання.

1.4. Дослідження умов роботи пристроїв для натягу на технологічних машинах

На трикотажних машинах широко використовуються пристрої для натягу шайбового типу, стрижневого типу та пальцевого типу [50-52].

Використання пристрою шайбового типу [50] для натягу не дозволяє точно визначати значення вихідного натягу тому, що не враховується нерівномірність нитки за діаметром, зминання нитки в зоні контакту з напрямними та жорсткість на згин комплексної нитки чи пряжі. Він дуже чутливий до зміни орієнтації вісі нитки відносно площини розташування лінії заправки в системі подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Пристрій натягу шайбового типу з рухливою верхньою шайбою [51] також не дозволяє точно визначати значення вихідного натягу тому, що не враховується нерівномірність нитки за діаметром, змінання нитки в зоні контакту з напрямними та жорсткість на згин комплексної нитки чи пряжі. Крім того, він дуже чутливий до зміни діаметру перетину нитки при її подачі в зону в'язання.

Спрощеною версією пристрою для натягу шайбового типу є пристрій для натягу шайбового типу у якого відсутності спрямовувачі до та після зони контакту з комплексною ниткою чи пряжею. Пристрій натягу шайбового типу з відсутніми спрямовувачами не дозволяє точно визначати значення вихідного натягу тому, що при взаємодії потовщень на поверхні нитки з шайбами та вертикальним стрижнем буде змінюватися геометрія лінії заправки і кути охоплення ниткою напрямних будуть мати інше значення.

Крім того, в даному випадку не враховується нерівномірність нитки за діаметром, змінання нитки в зоні контакту з напрямними та жорсткість на згин комплексної нитки чи пряжі. Він дуже чутливий до зміни орієнтації вісі нитки відносно площини розташування лінії заправки в системі подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Динамічна модель пристрою натягу шайбового типу [10], за допомогою якої визначається натяг комплексної нитки чи пряжі, враховує кінематичні показники окремих елементів пристрою. Дана динамічна модель не враховує реальних фізико-механічних характеристик комплексних ниток чи пряжі та умов її взаємодії з напрямними та робочими органами круглов'язальних машин великого діаметру.

В стрижневому пристрої для натягу комплексних ниток чи пряжі [50-52] необхідний натяг створюється шляхом послідовного огинання нерухомих стрижнів. Дана конструкція не дозволяє виключити вплив нерівномірності комплексних ниток чи пряжі за діаметром на коливання натягу. При взаємодії потовщень на поверхні комплексних ниток чи пряжі з вертикальними стрижнями відбувається зміна геометрії лінії заправки і кутів охоплення стрижнів. Отже, в цьому випадку, натяг нитки не буде мати постійного значення.

Пристрій для натягу пальцевого типу [9, 10, 50-51] складається з одного циліндричного стрижня, через який перекинута по гвинтовій лінії нитка. Він має такі самі недоліки як і стрижневий пристрій для натягу. Це пов'язано з тим, що відбувається зростання натягу за рахунок тертя в отворах у формі тора при вході та виході з натягувача.

1.5. Дослідження умов роботи компенсаторів натягу технологічних машин

Гребінчастий компенсатор натягу [10, 50, 53] складається з двох рядів рухомих та нерухомих пальців. До його недоліків, з позиції стабілізації натягу, слід віднести наявність напрямних великої кривизни, з якими будуть взаємодіяти нерівності на поверхні нитки, що призведе до коливань натягу.

В компенсаторі з нерухомими напрямними стрижнями, для гребінчастого компенсатора натягу, відбувається аналогічна картина. Нерівності на поверхні нитки будуть взаємодіяти з нерухомими напрямними стрижнями, що призведе до коливань натягу [53]. У випадку для гребінчастого компенсатора натягу комплексних ниток чи пряжі з двома нерухомими стрижнями процеси взаємодії нитки з напрямною протікають аналогічно [50-51]. Окремим випадком гребінчастого компенсатора натягу є компенсатор натягу з кільцями [9, 53].

Компенсатор натягу з кільцями складається з кільця (або декількох кілець), яке одягнене на напрямляючу рамку. З двох боків рамки розташовані два отвори для проходу нитки. При заправці кільце буде діяти на поверхню нитки своєю вагою. При обриві нитки кільце затримається на стопорі рамки.

Компенсатор натягу з кільцями для комплексних ниток чи пряжі є дуже чутливим до зміни натягу та товщини перетину сировини, що переробляється на круглов'язальних машинах великого діаметру. Крім того, його недоліком є те, що він може працювати тільки при розташуванні в вертикальній площині. Зміна орієнтації у просторі призведе до порушення його роботи [9, 10].

В шайбових компенсаторах [10, 53] натяг регулюється в залежності від натягу комплексних ниток чи пряжі на виході за допомогою фігурних кронштейнів, які виконують функцію чутливого елемента. Їх особливістю є

наявність шайб, за допомогою яких забезпечується необхідний натяг. Пружні елементи регулюють заданий натяг комплексних ниток чи пряжі [50, 51].

В шайбовому компенсаторі натягу комплексних ниток чи пряжі навантаження відбувається за допомогою пружини [9, 10]. При зсуві втулки пружина стискається і навантаження на нитку знімається [50].

Шайбовий компенсатор натягу комплексних ниток чи пряжі є дуже чутливим до зміни товщини перетину сировини, що переробляється на круглов'язальних машинах великого діаметру. При збільшенні швидкості руху нитки відбувається різке зростання коливань натягу за рахунок взаємодії нерівностей на поверхні нитки з направляючими елементами компенсатора [9, 10].

В пальцьовому компенсаторі натягу [50, 53] нитка проходить через отвір у формі тора, огинає нерухомий барабан, проходить скрізь рухомий отвір у формі тора та нерухомий отвір у формі тора. Даний вид компенсатора є дуже чутливим до зміни товщини перетину сировини, що переробляється на круглов'язальних машинах великого діаметру [9, 10, 50, 53].

1.6. Дослідження процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями

Зростання натягу нитки по глибині лінії заправки на круглов'язальних машинах великого діаметру обумовлено наявністю сил тертя в зоні контакту з структурними елементами системи подачі у вигляді циліндричних напрямних та напрямних у формі тора, пристроїв для натягу. Математичне забезпечення для дослідження механіки нитки, яка взаємодіє з структурними елементами, базується на використанні основ інтегрального і диференціального числень [62, 63], теорії функції [61], теоретичної механіки [65, 103], математичної теорії пружності [66], аналітичної та диференціальної геометрії [58-60].

Класичні дослідження процесу взаємодії нитки з напрямною знайшли своє відображення в роботах [60, 69-72]. Залежність, яка зв'язує натяг нитки до напрямної циліндричної форми малої кривизни не враховує реальних умов взаємодії в зоні контакту нитки з напрямними великої кривизни. Вона не враховує розтягування нитки, жорсткість нитки на згин, зминання в зоні контакту,

нелінійну залежність сили і коефіцієнта тертя, виду матеріалів напрямної та нитки, структури сировини. При взаємодії нитки з напрямними малої кривизни не враховується зростання коефіцієнту тертя за рахунок збільшення довжини лінії контакту, що пов'язане зі зростанням радіусу кривизни напрямної циліндричної форми [58, 67, 68].

Урахування розтягування нитки при взаємодії з поверхнею циліндричної форми враховано в роботі [70].

Залежність [70] може використовуватися для розрахунку натягу нитки при взаємодії з напрямними тільки малої кривизни, коли радіус поверхні циліндричної форми значно більший за радіус перетину нитки [83, 84].

Більшість направляючих поверхонь має форму перетину, яка відрізняється від кола. Була отримана залежність натягу після напрямної [69, 72, 88-90], яка має довільну форму у вигляді функції $F(x, y) = 0$.

Залежність [69, 72, 88-90] не описує реальних процесів в зоні контакту нитки з конструктивними елементами системи подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру при виготовленні трикотажних полотен для одягу з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей сировини, особливостями геометричної форми пружної системи заправки ниток та конструкції її окремих структурних елементів.

Коли сила тертя нелінійно залежить від нормальної реакції поверхні (не підкорюється закону Амонтона) була отримана залежність натягу нитки після напрямної малої кривизни [104-106].

Залежність [104-106] має обмежений діапазон використання. Її можна застосовувати тільки у випадках, коли направляюча поверхня має малу кривизну. При визначенні натягу після структурних елементів системи подачі у вигляді циліндричних напрямних та напрямних у формі тора, пристроїв для натягу круглов'язальних машин великого діаметру отримані результати не будуть відповідати реальним значенням.

Для випадку граничної рівноваги нитки на циліндричній напрямній поверхні була отримана система диференціальних рівнянь [66]. Вона не дозволяє визначати величину натягу для напрямних великої кривизни оскільки тут не враховуються співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача у формі тора, жорсткість на згин, деформація в зоні контакту, нелінійна залежність коефіцієнту тертя.

Першою спробою отримати рівняння для визначення натягу у випадку направляючої великої кривизни стала робота [73]. В ній отримано рівняння для визначення натягу ведучої гілки нитки з урахуванням тільки геометричних співвідношень між конструктивними параметрами. В реальних умовах формула вона дає невірні результати так як не враховує реальні фізико-механічні характеристики нитки та умови взаємодії нитки з напрямною в зоні контакту.

Для визначення натягу нитки після напрямної циліндричної форми, з урахуванням коефіцієнту жорсткості на згин, були отримані залежності, які наведені в роботах [59, 74-79, 81, 82]. Вони можуть бути використані тільки для монониток, а для розрахунку натягу комплексної нитки та пряжі вона не підходить так як не враховує деформацію в зоні контакту, нелінійну залежність коефіцієнту тертя [96-102]. Окрім того, значення кут охоплення ниткою напрямної поверхні циліндричної форми в реальних умовах буде менше ніж його розрахункове значення. Він буде менше на величину кутів жорсткості в точках входу та сходу з напрямної.

Ця обставина була врахована при отриманні залежності натягу жорсткої на згин нитки після циліндричної направляючої поверхні [9, 10]. Вона може бути використано для направляючої великої кривизни тільки для моно ниток. Проте, в ньому не враховується нелінійна залежність коефіцієнту тертя від нормального тиску.

Динамічну рівновагу нескінченно малого елемента жорсткої на згин нитки на поверхні довільного профілю описує система диференціальних рівнянь [80]. Вона не може бути використана при визначенні натягу комплексних ниток і пряжі при їх взаємодії з структурними елементами системи подачі нитки на

круглов'язальних машинах великого діаметру так, як вона не враховує зміни вхідного натягу, кута охоплення, співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача у формі тора, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя.

Трансцендентне рівняння [85-87] дозволяє визначати натяг нитки після напрямної з урахуванням коефіцієнта жорсткості на згин та зминання в зоні контакту з циліндричною направляючою. Фактичний кут охоплення ниткою циліндричної направляючої визначається шляхом віднімання з початкового, теоретичного кута кутів жорсткості і додавання кутів за рахунок деформації перетину нитки в зоні контакту. Розв'язання трансцендентного рівняння [85-87] виконувалося методом дихотомії із застосуванням ЕОМ[86, 87].

Представляє інтерес дослідження взаємодії нитки з напрямною з урахуванням анізотропії тертя [107-112]. Була отримана система диференціальних рівнянь в циліндричних координатах описує поперечний рух жорсткої на згин нитки по направляючій з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей. Її неможливо використовувати для визначення натягу після структурних елементів системи подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру так, як вона не враховує зміни вхідного натягу, співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача у формі тора, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя.

1.7. Аналіз робіт по експериментальному дослідженню процесу взаємодії нитки з структурними елементами системи подачі

Питанню експериментального дослідження процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни присвячено багато робіт [113, 120-124]. Експериментальні методи вивчення натягу ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру дозволяють не тільки визначити його величину, але і виявити характер зміни натягу як при сталому режимі, так і при різних параметрах процесу в'язання трикотажних полотен для одягу[1-4, 114]. Використовуючи ці методи, можна визначити зміну натягу ниток, знайти оптимальні параметри і тим самим сприяти підвищенню його продуктивності і

поліпшенню якості полотна [1, 2, 4-10]. Основними питаннями організації експериментального дослідження є: обрання стратегії проведення експериментального дослідження процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни; місце проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни; апаратура для проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни; обробка отриманих експериментальних даних при дослідженні процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни.

Під стратегією проведення експериментального дослідження мають на увазі обрання пасивного чи активного експерименту [1-6, 9-10, 114]. Активні методи дослідження процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни в даний час розроблені значно краще, ніж пасивні, і є у відомому сенсі більш універсальними, оскільки припускають деяку свободу у виборі діапазону зміни рівнів чинників і отримання надійніших результатів. При активному експерименті інформацію про параметри процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни отримують шляхом штучного внесення збуджень, тобто змінюють вхідні параметри відповідно до заздалегідь спланованої програми (матрицею планування експерименту).

При дослідженні процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни доцільно скористатися активними методами експерименту для визначення або уточнення числових значень коефіцієнтів, що входять в математичну модель, тобто доцільно поєднувати пасивний експеримент з активним [9, 10, 114].

Важливим питанням є обрання вхідних параметрів (факторів), які впливають на величину натягу перед робочою зоною круглов'язальних машин великого діаметру. Аналіз наукової інформації, яка накопичилася до теперішнього часу, по питанню взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни дозволяє побудувати середню апріорну діаграму рангів. По одній осі відкладаються чинники – конструктивні та геометричні параметри

структурних направляючих елементів циліндричної форми та у формі тора, а по іншій суми рангів. До даних чинників були віднесені: радіус направляючої, натяг веденої гілки, кут охоплення ниткою направляючих елементів циліндричної форми та у формі тора, швидкість руху нитки, температура навколишнього середовища, вологість повітря, коефіцієнт тертя між ниткою та структурними направляючими елементами циліндричної форми та у формі тора, характер обробки напрямної поверхні, матеріал і структура нитки [5, 6, 114].

Аналіз середньої апріорної діаграми рангів дозволив встановити, що для радіусу структурних направляючих елементів циліндричної форми та у формі тора, натягу веденої гілки, кута охоплення ниткою структурних направляючих елементів циліндричної форми та у формі тора розподіл відповідних сум рангів рівномірний [3, 4]. Після визначення чинників, що впливають на збільшення натягу ведучої гілки нитки, обґрунтування і вибору сировини для випробувань, необхідно скласти план проведення експерименту. Це дозволить виробити певну стратегію в пошуку оптимального поєднання чинників, що впливають процес взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни [9, 10, 114].

Важливе значення має місце проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни. Проведення експерименту в виробничих умовах пов'язане з певними труднощами. Тому, більш широко розповсюджене проведення експериментальних досліджень в лабораторних умовах [1, 2, 5, 6].

Для дослідження процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни використовуються механічні пристрої, комбіновані пристрої та пристрої з використанням електричного тензометричного обладнання [115-117].

Відомий механічний пристрій для визначення натягу [9]. Даний пристрій не можна використовувати при дослідженні процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни. Умови взаємодії нитки з напрямною відрізняються від реальних умов взаємодії нитки з структурними направляючими елементами циліндричної форми та у формі тора круглов'язальних машин

великого діаметру. Крім того, наявність динамометра не дозволяє реєструвати зміни натягу від 0,5 до 5 сН.

Для визначення фрикційних характеристик в подовжньому та поперечному напрямках запропонована конструкція [118]. Даний пристрій не можна використовувати при дослідженні процесу взаємодії нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни.

Для визначення натягу комплексних ниток та пряжі, в умовах наближених до реального процесу переробки ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру, був розроблений прилад, що дозволяє імітувати умови переробки ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру [10]. Недоліками даного пристрою є інерційні навантаження вимірювального вузла виникаючі при переміщенні нитки та сили тертя між рухомою кареткою та горизонтальною напрямною, які знижують точність вимірювання та обмежують діапазон швидкостей руху комплексних ниток та пряжі в пристрої.

Для визначення натягу комплексних ниток та пряжі запропонована конструкція механічного пристрою з кареткою у вигляді самоустановлювального механізму [119].

Недоліком усіх розглянутих вище пристроїв є наявність рухомих елементів, що негативно впливає на точність визначення натягу комплексної нитки чи пряжі з структурними направляючими елементами циліндричної форми та у формі тора круглов'язальних машин великого діаметру. Їх інерція не дозволяє проводити експериментальні дослідження при великих швидкостях руху нитки.

Використання експериментальної установки з електричним тензометричним обладнанням дозволяє уникнути недоліків, які були притаманні пристроям наведеним вище [9, 10]. Недоліком цього пристрою є те, що він дозволяє проводити визначення натягу тільки для структурних направляючих елементів циліндричної форми. Для направляючих у формі тора треба провести модернізацію четвертого основного вимірювального блока.

Висновки по розділу 1. Постановка цілі та завдання дослідження

Проведений аналіз літературних джерел дозволив зробити наступні висновки:

- проведений системний аналіз робіт по впливу геометричних та конструктивних параметрів лінії заправки та структурних елементів системи подачі нитки показав, що це питання досить глибоко освітлено для технологічного обладнання де має місце переробка системи ниток, а для системи подачі ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру цих досліджень проведено недостатньо;
- при математичному моделюванні процесу взаємодії нитки з напрямними великої та малої кривизни, який має місце на технологічних машинах трикотажної галузі, не враховуються реальні фізико-механічні та структурні характеристики ниток, граничні умови на вході системи подачі нитки;
- недостатньо глибоко вивчене питання про взаємодію комплексних ниток та пряжі з циліндричними напрямними та напрямними у формі тора, коли радіус кривизни напрямної наближається до радіусу перетину нитки з урахуванням жорсткості на згин, змінання в зоні контакту, нелінійної залежності сили і коефіцієнта тертя від матеріалу, структури сировини;
- існуючі залежності для визначення натягу при взаємодії ниток та пряжі з структурними елементами системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру не в повній мірі відповідають реальним умовам з позиції визначення реальних кутів охоплення ниткою напрямної, діаметру перетину, вхідного натягу, граничних умов на вході та виході з напрямної, що призводить до значних похибок при визначенні натягу;
- розбіжність між теоретичними та експериментальними результатами підтверджує недостатню коректність зроблених припущень при складанні вихідних систем диференціальних рівнянь, які описують процес взаємодії нитки з циліндричними напрямними та напрямними у формі тора, коли радіус кривизни напрямної наближається до радіусу перетину нитки;
- з урахуванням багатофакторної залежності необхідно провести комплексні експериментальні дослідження процесу взаємодії реальних ниток з циліндричними напрямними та напрямними у формі тора, пристроями для натягу круглов'язальних машин великого діаметру з використанням сучасних засобів і

пристроїв реєстрації вихідних параметрів, активного планування, прикладного програмного забезпечення для ЕОМ;

- складність дослідження процесу зміни натягу по глибині лінії заправки нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру в реальних умовах потребує широкого використання його математичного моделювання з використанням алгоритму рекурсії та алгоритмічного та програмного забезпечення.

Все сказане вище дозволяє сформулювати мету цієї роботи - удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу.

Виходячи з мети дослідження були означені мета та об'єкт дослідження. Об'єкт дослідження - технологічні процеси переробки ниток на в'язальних машинах.

Предмет дослідження - система подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- аналіз досліджень у сфері удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах з урахуванням конструктивних особливостей її структурних елементів та змінного вхідного натягу і реальних фізико-механічних властивостей ниток, що переробляються;
- розробка системи диференціальних рівнянь, яка описує умови взаємодії жорсткої на згин нитки змінного перетину, що зминається в зоні контакту, з напрямними поверхнями великої та малої кривизни для отримання залежності вихідного натягу з урахування зміни вхідного натягу;
- отримання залежності для визначення приведенного коефіцієнту тертя, яка враховує радіальне охоплення нитки поверхнею напрямної у формі тору;
- отримання залежності для визначення вихідного натягу для існуючих та удосконалених пристроїв для натягу нитки та компенсаторів з урахуванням нерівномірності діаметру перетину, нерівномірності вхідного натягу, жорсткості на згин, зминання в зоні контакту;

- проведення досліджень, з використанням активного планування експерименту, для отримання залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору;
- удосконалити конструкції пристроїв для натягу нитки та компенсаторів, з урахуванням нерівномірності перетину ниток та пряжі та вхідного натягу;
- на основі використання рекурсивного підходу отримати системи рівнянь, які описують залежність натягу в зоні в'язання в залежності від конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі з урахуванням зміни величини перетину, радіального охоплення в зоні контакту, кутів охоплення в точках входу та виходу та закону зміни вхідного натягу та фізико-механічних властивостей нитки;
- на основі стабілізації натягу пряжі в робочій зоні, при формуванні трикотажного полотна, удосконалити систему подачі нитки на високопродуктивних круглов'язальних машинах компаній "Mayer&Cie", "КЛК -10" при переробці натуральних та синтетичних комплексних ниток та пряжі.

Враховуючи все сказане вище можна зробити висновок, що поставлена мета є досить актуальною і її успішне рішення дозволить підвищити продуктивність обладнання шляхом удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу та покращити якість продукції що випускається.

Список використаних джерел до розділу 1

1. Ресурсоощадні технології виробництва текстилю, одягу та взуття: монографія: в 2 т. Т.1/Теоретичні основи та методи розроблення ресурсоощадних технологій та обладнання для виробництва текстилю, одягу та взуття / В.Ю.Щербань, Б.Ф.Піпа, В.В.Чабан та ін. – К.:КНУТД, 2016. – 373 с.
2. Ресурсоощадні технології виробництва текстилю, одягу та взуття: монографія: в 2 т. Т.2/Підвищення надійності ресурсоощадних виробництв текстилю, одягу і

взуття на основі новітніх технологій та системного управління/ В.Ю.Щербань, Б.Ф.Піпа, В.В.Чабан та ін. – К.:КНУТД, 2016. – 214 с.

3. Щербань В.Ю. Базове проектуєчне забезпечення САПР в індустрії моди/ В.Ю.Щербань, Ю.Ю.Щербань, О.З.Колиско, Г.В.Мельник, М.І.Шолудько, В.Ю.Калашник. – К.:Освіта України, 2018. – 902 с.

4. Щербань В.Ю. Алгоритмічні, програмні та математичні компоненти САПР в індустрії моди/ В.Ю.Щербань, О.З.Колиско, М.І.Шолудько, В.Ю.Калашник. – К.:Освіта України, 2017. – 745 с.

5. Ресурсоощадні технології та обладнання швейної та текстильної промисловості: монографія: в 2 ч. Ч2/Шляхи підвищення ефективності швейної та текстильної галузей України на базі новітніх технологій та управління/В.Ю.Щербань, Г.Б.Параска, Б.В.Орловський та ін. – К.:КНУТД, 2015. – 260 с.

6. Ресурсоощадні технології та обладнання швейної та текстильної промисловості: монографія: в 2 ч. Ч1/Наукові основи та інженерні методи проектування ресурсоощадних технологій і обладнання швейної та текстильної промисловості/В.Ю.Щербань, Г.Б.Параска, Б.В.Орловський та ін. – К.:КНУТД, 2015. – 334 с.

7. Щербань В. Ю.Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві/В.Ю.Щербань.-К.:Освіта України, 2018. – 257 с.

8. Слізков А.М., Щербань В.Ю., Кизимчук О.П. Механічна технологія текстильних матеріалів. Частина II. (Ткацьке, трикотажне та неткане виробництво): підручник / А.М.Слізков, В.Ю.Щербань, О.П.Кизимчук. – К.:КНУТД, 2018. – 276 с.

9. Щербань В.Ю. Механіка нитки/В.Ю.Щербань. – К.:Видавництво «Укрбланковидав». – 2018. – 533 с.

10. Щербань В.Ю. Механіка нити/В.Ю.Щербань, О.Н.Хомяк, Ю.Ю.Щербань. - К.:Бібліотека офіційних видань, 2002.- 196 с.

11. Щербань В.Ю. Математические модели в САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной

промисленості/В.Ю.Щербань, О.И.Волков, Ю.Ю.Щербань. – К.:Бумсервіс, 2003. – 588 с.

12. Прогнозування фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів побутового призначення/А.М. Слізков, В.Ю. Щербань, С.М. Краснитський, О.Б. Демківський. –К.:КНУТД, 2013. – 223 с.

13. Омельченко В.Д. Проектування виробництв трикотажної промисловості/ В. Д. Омельченко, Є. О. Романюк, Н. М. Литвиненко. - К. : КНУТД, 2012. - 252 с.

14. Омельченко В. Д. Особливості петельної структури основов'язаного двощарового трикотажу / В.Д. Омельченко, Т.І. Розсоха // Вісник КНУТД. -2010. - №3. - С. 158-162.

15. Mykola Riabchykov, Alexandr Alexandrov, Iryna Tsykhanovska, Distribution of the sizes of microcapsules in two-phase emulsions for treatment of textile materials// VLAКNA a TEXTIL Volume 26, Issue 4, -2019 pp.47-52.

16. M. Riabchykov, S. Vilkov, S. Nechipor Two-dimensional studies of thermomechanical properties of textile materials for 3d formation // VLAКNA a TEXTIL Volume 25, Issue 2,- 2018- pp.87-93.

17. Riabchykov M., Murahivska-Pechenegska E. Development of the dynamic model of production quality during manufacture //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies Volume 2, Issue 3, -2015,- Pages 32-37.

18. Защепкіна Н.М., Здоренко В.Г. Вплив конструкції системи гальмування круглов'язальної машини на ефективність роботи та вибір її параметрів/ Вісник Хмельницького національного університету. №2. – 2017. – С. 63-66.

19. Защепкіна Н.М. Оцінка та контроль рівня показників технологічних процесів як характеристики якості / Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. – 2015. – №5 (90). – С. 192–196.

20. Защепкіна Н.М. Методика проведення експертизи технологічних процесів легкої промисловості / Н.М. Защепкіна // Вісник Київського національного університету технологій і дизайну. – 2015. – №4. – С.126–132.

21. Zashchepkina N., Barylko S. Application of an ultrasonic method for quality assurance of / Study of problems in modern science new technologies in engineering:

advanced management, efficiency of social institutions. Monograph. Bydgoszcz –2015. – P. 241-257.

22. Zashchepkina, N.M., Zdorenko, V.G., Tierentyeva, N.R., Markin, M.O., Bozhko, K.M. Ultrasonic method of quality control for textile materials / Archives of Materials Science and Engineering . Volume 1-2, No. 97. - 2019. - pp.39-49.

23. Дослідження стійкості до порізу трикотажу для захисту рук від механічних ушкоджень / В. І. Безсмертна, С. Ю. Боброва, Л. Є. Галавська, А. В. Кравченко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2020. - № 2. - С. 255-260.

24. Вплив типу плосков'язального обладнання на петельну структуру трикотажу, виробленого з сировини підвищеної міцності та у поєднанні з металевою монониткою / О. М. Дмитрик, В. І. Безсмертна, Л. Є. Галавська // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2020. - № 1. - С. 98-104.

25. Вплив типу в'язального обладнання на показники втрати міцності поліетиленових та параарамідних ниток після в'язання / О. М. Дмитрик, В. І. Безсмертна, Л. Є. Галавська // Вісник Херсонського національного технічного університету . - 2020. - № 1(1). - С. 89-96.

26. Кизимчук О.П. Вплив технологічних можливостей сучасних плосков'язальних машин на їх енергоспоживання // Кизимчук О.П., Мельник Л.М., Єрмоленко І.В. // Вісник КНУТД – 2016. - № 5. – С.11-19.

27. Zdorenko V. The use of ultrasonic method for determining the basis weight of textile materials / V Zdorenko , O Kyzymchuk, S Barylko, L Melnyk // The Journal of The Textile Institute, – 2018. Vol.109. Issue 3. P.410-418.

28. Рыклин, Д. Б. Моделирование технологических процессов переработки неоднородных волокнистых смесей : монография / Д. Б. Рыклин. – Витебск : УО «ВГТУ», 2006. – 170 с.

29. Перепелкин К.Е. Структура и свойства волокон/К.Е.Перепелкин.-М.:Химия, 1985.-208 с.

30. Торкунова З.А. Испытания трикотажа /З.А.Торкунова.-М.:Легпромбытиздат, 1985.-200с.
31. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение. Часть 1 /Г.Н.Кукин, А.Н.Соловьев.-М.:Ростехиздат, 1961.-262 с.
32. Розанов Ф.М. Технология ткачества /Ф.М.Розанов, П.В. Власов, М.И. Павлова, Г.И. Селиванов, Н.Ф. Сурнина . - М.:Легкая индустрия, 1967. - 341с.
33. Севостьянов А.Г. Моделирование технологических процессов /А.Г.Севостьянов, П.А.Севостьянов.- М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984.- 344с.
34. Чайковська О.С. Вплив крутки нитки на її натяг при взаємодії з робочими органами машин легкої промисловості/О.С.Чайковська, В.Ю.Щербань, Г.В.Мельник, А.В.Долгопол//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. - №1(38). – С.214-218.
35. Ефремов Р.Д. Современная технология бесчелночного ткачества/Р.Д.Ефремов, Л.В.Шевелева, М.П.Дзыга.– К.:Техніка, 1984.– 152 с.
36. Гордеев В.А. Ткачество/В.А.Гордеев, П.В.Волков.-М.: Легкая и пищевая пром-сть,1984.-488 с.
37. Мельник Г.В. Математичне та програмне забезпечення проектування форми пружної системи заправки трикотажних машин/Г.В.Мельник//Вісник Хмельницького національного університету. – 2017(245). - №1. – С.60-63.
38. Мельник Г.В. Оптимізація снування мононитки в машинах типу СЛ/Г.В.Мельник, А.В.Долгопол, О.С.Чайковська, В.Ю.Щербань//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. - №1(38). – С.223-225.
39. Назарова М.В. Исследование уровня повреждаемости нитей основы на шлихтовальной машине в условиях ООО "ТК "КХБК"/М.В.Назарова, М.Г.Березняк // Современные проблемы науки и образования. - 2009.-№5. - С. 109-112.
40. Исаков Н.П. Влияние натяжных приборов на обрывность нитей при перемотке и сновке/Н.П.Исаков//Изв.вузов. Технология текстильной пром-сти.-1961.-№1.- С.80-84.

41. Щербань В.Ю. К вопросу об обрывности нитей при их переработке/В.Ю.Щербань//Изв.вузов. Технология легкой пром-сти.-1992.-№5-6.- С.81-84.
42. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин/О.Н.Хомяк, Б.Ф.Пипа. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
43. Повышение надежности трикотажного оборудования/Б.Ф.Пипа, В.П.Волощенко, С.Т.Шипуков, В.А.Орлов. – К.: Техніка, 1983. – 111 с.
44. Расчеты надежности элементов машин при проектировании/О.Н.Хомяк, В.П.Волощенко. – К.: Вища школа, 1988. – 167 с.
45. Золотаревский Л.Т. Обрывность основы на ткацких станках/Л.Т.Золотаревский. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 87 с.
46. Васильченко В.Н. Прибой уточной нити/В.Н.Васильченко. – М.: Легпромбытиздат, 1993. – 192 с.
47. Scherban V.Yu. Determination of the geometric characteristics of the shape of the filament axis moving along the deformable guide surface / V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1990. - №6. - P.52-55.
48. Scherban V.Yu. Determination of technological efforts in the process of surf during the formation of multilayer technical fabric / V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1990. - №3. - P.44-47.
49. Scherban V.Yu. Investigation of the process of duck surf during the formation of multilayer technical fabric / V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1990. - №4. - P.41-44.
50. Оников Э.А. Натяжные контрольно-очистительные устройства одиночных нитей/Э.А.Оников.-М.: Гизлегпром, 1963.- 102 с.
51. Коритыцкий Я.И. Современные натяжные устройства текстильных машин/Я.И.Коритыцкий, Г.Н.Миронова.-М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1971.- 52 с.
52. Щербань В.Ю. Оптимізація плоскої траєкторії нитки у апаратах текстильної галузі/В.Ю.Щербань, Б.Л.Шрамченко, Г.В.Мельник//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. - №3(41). – С.12-17.

53. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин/В.Н.Гарбарук.- Л.:Машиностроение, 1980.-472 с.
54. Цитович И.Г. Расчет конструктивных параметров нитепроводящей системы плоскофанговой машины/И.Г.Цитович, Н.И.Большакова//Изв.вузов. Технология легкой пром-сти. – 1975. - №6. – С.116-121.
55. Крутикова В.Р. Взаимодействие нити с рабочими органами плоско- и кругловязальных машин/В.Р.Крутикова. – Кострома:КГТУ, 2006. – 103 с.
56. Яхно В.М. Обчислювальна схема алгоритмів послідовної оптимізації, що мінімізує пошуки в дереві варіантів. Повідомлення 2/В.М.Яхно, Г.В.Мельник//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. - №1(51). – С.79-84.
57. Долгопол А.В. Вдосконалення системи подачі нитки текстильного обладнання з урахуванням змінання нитки/А.В.Долгопол, Г.В.Мельник, О.С.Чайковська, В.Ю.Щербань//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2008. - №1(38). – С.218-222.
58. Чепелюк Е.В. Трение утка на ткацких станках / Е. В. Чепелюк, В. В. Чугин. - Херсон : Олди-плюс, 2008. - 127 с.
59. Зрюкин, Д. В. Натяжение нити на крючке трикотажной иглы с эллиптическим профилем / Д. В. Зрюкин, Е. Н. Никифорова, В. В. Капралов, Н. Г. Жарова // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. - 2007. - №5. - С. 52-54.
60. Щербаков В.П.Прикладная механика нити/В.П.Щербаков. – М.:МГТУ, 2001. – 301 с.
- 61.Вирченко Н.А. Графики функций/Н.А.Вирченко, И.И.Ляшко, К.И.Швецов.- К.:Наукова думка, 1981.-320 с.
62. Самойленко А.М. Дифференциальные уравнения/А.М.Самойленко А.М., С.А.Кривошея, Н.А.Перестюк.-К.:Вища школа, 1984.- 408 с.
63. Брычков Ю.А. Таблицы неопределенных интегралов /Ю.А.Брычков, О.И.Маричев, А.П.Прудников.-М.: Наука, 1986.- 192 с.
64. Рекач В.Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости/В.Г.Рекач. – М.:Высшая школа, 1984. – 287 с.

65. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем /Я.Г.Пановко, И.И.Губанова.-М.:Наука, 1987.- 352с.
66. Ильин В.А. Аналитическая геометрия /В.А.Ильин, Э.Г.Позняк.-М.:Наука, 1981.- 232 с.
67. Хвальковский Н.В. Трение текстильных нитей /Н.В.Хвальковский.- М.:ЦИНТИ, 1966.-73 с.
68. Минаков А.П. Равновесие идеально-гибкой нерастяжимой нити на шероховатой поверхности /А.П.Минаков //Текстильная пром-сть. – 1944. - №2-3. – С. 5.
69. Якубовский Ю.В. Основы механики нити/Ю.В.Якубовский, В.С.Живов, Я.И.Коритыцкий, И.И.Мигушов. – М.:Легкая индустрия, 1973. – 271 с.
70. Щедров В.С. Основы механики нити /В.С.Щедров. – М.: Машгиз, 1961. – 172 с.
71. Меркин Д.Р. Введение в механику гибкой нити /Д.Р.Меркин. – М.: Наука, 1980. – 240 с.
72. Алексеев Н.И. Статика и установившееся движение гибкой нити/Н.И.Алексеев. – М.:Легкая индустрия, 1970. – 272 с.
73. Ефремов Е.Д. Влияние толщины нити и геометрических параметров рабочих органов машины на натяжение нити/Е.Д.Ефремов//Изв.вузов. Технология легкой пром-сти. – 1958. - №6. – С.63-67.
74. Каган В.М. Расчет натяжения нити на вращающейся цилиндрической поверхности/В.М.Каган, Д.А.Бондаренко//Изв.вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1974. - №3. – С.46-50.
75. Полухин В.П. Зависимость натяжения нити от радиуса кривизны огибаемого контура/В.П.Полухин, И.С.Зак, В.М.Никифоров//Изв.вузов. Технология легкой пром-сти. – 1963. - №6. – С.83-88.
76. Цитович И.Г. К исследованию переработки стеклонитей на трикотажных машинах/И.Г.Цитович, В.М.Каган//Изв.вузов. Технология легкой пром-сти. – 1969. - №3. – С.116-120.

77. Рагоза И.В. Протягивание упругой на изгиб нерастяжимой связи по цилиндрической поверхности /И.В.Рагоза//Изв.вузов. Технология легкой промышленности. – 1967. - №1. – С.124-131.
78. Рагоза И.В. Исследование прохождения нити по стержням малого диаметра /И.В.Рагоза, П.П.Шерман //Изв.вузов. Технология легкой промышленности. – 1968. - №1. – С.88-93.
79. Сурков К.С. Об учете влияния жесткости нити при протягивании вокруг иглы /К.С.Сурков//Изв.вузов. Технология легкой промышленности. – 1958. - №5. – С.116-118.
80. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани/И.И.Мигушов. – М.:Легкая индустрия, 1980. – 160 с.
81. Сердюк В.П. Расчет приводов машин легкой промышленности/В.П.Сердюк. – К.:Техніка, 1978. – 232 с.
82. Сухарев В.А. О распределении натяжений в жесткой нити, скользящей по цилиндрической поверхности/В.А.Сухарев//Изв.вузов. Технология текстильной промышленности. – 1973. - №2. – С.68-73.
83. Yakubitskaya I.A. Dynamic analysis of layout conditions on the end sections of the groove of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1997. - №5. - P.33-37.
84. Yakubitskaya I.A. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum / I.A. Yakubitskaya, V.V. Chugin, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1997. - №6. - P.50-54.
85. Shcherban' V. Melnyk G. Sholudko M. and Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation/V.Shcherban' , G.Melnyk , M.Sholudko, V.Kalashnyk // Fibres and Textiles. – 2018. – volume 25. - №2. – pp.97-104.
86. Scherban V. Interaction yarn guide surface/V.Scherban, M. Sholudko, V. Kalashnik, O. Kolisko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – May 2015. – Volume 4.- Number 3. – P. 10-15.
87. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//Intellectual Archive,

Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – P. 22-26.

88. Morton, W.E. & Hearle J.W.S. Physical properties of textile fibres/ Manchester & London: The textile institute butterworths. – 1962. – p.182.

89. Weber M.O. , Ehrmann A. Necessary modification of the Euler-Eytelwein formula for knitting machines/ The Journal of The Textile Institute. – 2012. - N103. – pp. 687-690.

90. Donmez S., Marmarali A. A Model for Predicting a Yarn's Knittability/ Textile Research Journal. – 2004. - N74. – pp.1049-1054.

Koo Y., Kim H. Friction of cotton yarn in relation to fluff formation on circular knitting machines/ Textile Research Journal. – 2002. - N72. – pp.17-20.

91. Vasconcelos F.B., Marcicano J.P.P., Sanches R.A. Influence of yarn tension variations before the positive feed on the characteristics of knitted fabrics/ Textile Research Journal. – 2015. - N85. – pp.1864-1871.

92. Liu X., Chen N., Feng X. Effect of Yarn Parametr on the Knittability of Glass Ply Yam/ Fibres & textiles in Eastem Europe. – 2008. - N16. – pp.90-93.

93. Hammersley M.J. Simple Yarn-friction Tester for use with knitting yarns/ The Journal of the Textile Institute. – 1973. - N64. – pp.108-111.

94. Kowalski K., Wlodarczyk D., Kowalski T.M. Probabilistic Model of Dynamic Forces in Thread in the Knitting Zone of Weft Knitting Machines, Allowing for the Heterogeneity of Visco-Elasticity Yarn Properties/ Fibres & textiles in Eastem Europe. – 2010. - N18. – pp.61-67.

95. Koo Y., Kim H. Friction of cotton yarn in relation to fluff formation on circular knitting machines/ Textile Research Journal. – 2002. - N72. - pp.17-20.

96. Vasconcelos F.B., Marcicano J.P.P., Sanches R.A. Influence of yarn tension variations before the positive feed on the characteristics of knitted fabrics/ Textile Research Journal. - 2015. - N85. - pp.1864-1871.

97. Kovar R. Impact of directions on frictional properties of a knitted fabric/ Fibres and Textiles. - 2007. - N2. - pp.15-20.

98. Sodomka L., Chrpová E. Method of determination of euler friction coefficients of textiles/ *Fibres and Textiles*. - 2008. - N2-3. - pp.28-33.
99. Donmez S., Marmarali A. A Model for Predicting a Yarn's Knittability/ *Textile Research Journal*. - 2004. - N74. - pp.1049-1054.
100. Weber M.O., Ehrmann A. Necessary modification of the Euler-Eytelwein formula for knitting machines/ *The Journal of The Textile Institute*. - 2012. - N103. - pp. 687-690.
101. Liu X., Chen N., Feng X. Effect of Yarn Parametrs on the Knittability of Glass Ply Yam/ *Fibres & Textiles in Eastem Europe*. - 2008. - N16. - pp.90-93.
102. Hammersley M.J. Simple Yarn-friction Tester for use with knitting yarns/ *The Journal of the Textile Institute*. - 1973. - N64. - pp.108-111.
103. Щербань В.Ю. Динамічні навантаження рукавичних автоматів зі зворотно-поступальним рухом кареток/В.Ю.Щербань, Б.Ф.Пипа, О.В.Чабан//Вісник КНУТД, 2016.- №3.- С.118-125.
104. Колиско М.І. Визначення оптимальних геометричних параметрів циліндричних нитконапрямних машин легкої промисловості/ М.І.Колиско, В.Ю.Щербань// Вісник КНУТД. – 2014. - №1. – С. 119-124.
105. Колиско М.І. Дослідження взаємодії нитки з циліндричною напрямною поверхнею/ М.І.Колиско, В.Ю.Щербань// Вісник КНУТД. – 2013. - №5. – С44-47.
106. Колиско М.І. Визначення впливу змінання та жорсткості на згин на натяг нитки при її взаємодії з циліндричною напрямною/ М.І.Колиско, В.Ю.Щербань// Вісник ХНУ. – 2013. - №6. – С.10-13.
107. Щербань В.Ю. Дослідження впливу матеріалу нитки і анізотропії тертя на її натяг і форму осі/ В.Ю.Щербань, В.Ю.Калашник, О.З.Колиско, М.І.Шолудько // Вісник ХНУ. – 2015. - №2. - С.25-29.
108. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей/ В.Ю.Щербань, М.І.Шолудько, О.З.Колиско, В.Ю.Калашник // Вісник ХНУ. – 2015. - №3. - С.30-33.
109. Калашник В.Ю. Исследование поперечного скольжения нити по направляющей поверхности малой кривизны с учетом анизотропии трения/

В.Ю.Калашник// Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. - №1. – С.57-60.

110. Калашник В.Ю. Дослідження поперечного руху нитки по площині з урахуванням анізотропії тертя/ В.Ю.Калашник, В.Ю.Щербань// Вісник КНУТД. – 2012. - №5.- С.11-14.

111. Калашник В.Ю. Визначення форми і натягу жорсткої нитки на згин при поперечному ковзанні/ В.Ю.Калашник, В.Ю.Щербань// Вісник КНУТД. – 2012. - №6. - С.29-32.

112. Калашник В.Ю. Взаимодействие жесткой на изгиб нити с цилиндрической направляющей большой кривизны при поперечном скольжении/ В.Ю.Калашник, В.Ю.Щербань// Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. - №2. – С.73-76.

113. Назарова М. В. Методы и средства исследования технологических процессов ткацкого производства /М.В.Назарова, Т.Л.Фефелова. –Волгоград: ВолгГТУ, 2006. – 135 с.

114. Щербань В.Ю. САПР оборудования и технологических процессов легкой и текстильной промышленности/В.Ю.Щербань, О.И.Волков, Ю.Ю.Щербань. – К.: Бумсервис, 2004. – 519 с.

115. Лазаренко В.М. Процессы петлеобразования/В.М.Лазаренко. – М.:Легпромбытиздат, 1986. – 136 с.

116. Вакс Е.Э. Измерение натяжения нитей/Е.Э.Вакс. – М.:Легкая индустрия, 1966. – 232 с.

117. Крагельский И.В. Коэффициенты трения/И.В.Крагельский, И.Э.Виноградова. – М.:Машгиз, 1955. – 188 с.

118. А.с. 1805341 СССР, МКИ G 01 N 19/02, 33/36. Прибор для определения коэффициента трения нитей/В.Ю.Щербань, В.Н.Васильченко, С.А.Кошель, Ц.В.Апокин, В.И.Козиянчук, Т.Г.Луканина (СССР). – №4804675/12; заявл.19.03.90; опубл. 30.03.93, Бюл.№12.

119. А.с. 1730584 СССР, МКИ G 01 N 19/02, 33/36. Устройство для определения фрикционных свойств нитей/В.Ю.Щербань, В.Н.Васильченко, Ц.В.Апокин, В.И.Козиянчук, Т.Г.Луканина (СССР). – №4660138/12; заявл.06.02.89; опубл. 30.04.92, Бюл.№16.
120. Окс Б.С. Оптимизация процесса петлеобразования на трикотажных машинах/Б.С.Окс.-М.:Легкая и пищевая пром-сть, 1983.-152 с.
121. Vasilchenko V.N. Steady motion of a textile yarn with two anchoring points over a rough surface / V.N. Vasilchenko, V.Yu. Shcherban, Ts.V. Apokin // Technology of the textile industry. - 1985. - № 4. - P.54-56.
122. Vasilchenko V.N. Equilibrium of a filament of a root base in the zone of formation of a multilayer technical fabric / V.N. Vasilchenko, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1986. - № 5. - P.44-47.
123. Vasilchenko V.N. Influence of the twist of a capron complex filament on the value of its flexural rigidity / V.N. Vasilchenko, V.Yu. Shcherban // Technology of the textile industry. - 1986. - №4. - P.8-9.
124. Яхно В.М. Обчислювальна схема алгоритмів послідовної оптимізації, що мінімізує пошуки в дереві варіантів. Повідомлення 1/В.М.Яхно, Г.В.Мельник//Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2009. - №6(50). – С.68-71.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З НАПРАВЛЯЮЧИМИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ЇХ ФОРМИ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ

Удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру повинне базуватися на теоретичному і експериментальному дослідженні взаємодії ниток з циліндричними напрямними поверхнями великої та малої кривизни, спрямовувачами нитки у формі тора, пристроями та компенсаторами для натягу та його стабілізації в процесі переробки..

Проведення теоретичних досліджень повинне сприяти широкому освітленню процесів, які відбуваються в зоні контакту нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни, спрямовувачами нитки у формі тора, пристроями та компенсаторами для натягу та його стабілізації. Головним чинником, який впливає на збільшення натягу є кут охоплення напрямної. В реальних умовах фактичне значення кута охоплення ниткою напрямних буде залежить від жорсткості нитки на згин та ступеню її зминання в зоні контакту [1]. При збільшенні жорсткості нитки на згин реальний кут охоплення буде меншим ніж розрахунковий, який визначається без урахування фізико-механічних характеристик нитки. При збільшенні ступеня зминання в зоні контакту реальний кут охоплення буде більшим ніж розрахунковий [2, 3]. Реальним пряді та комплексним ниткам, які переробляються на круглов'язальних машинах великого діаметру, притаманні обидві ці властивості.

Величина жорсткості на згин та зминання в зоні контакту з напрямною залежить від величини крутіння нитки. Нитки та пряжа високого крутіння мають велику жорсткість на згин та малу ступінь деформації в зоні контакту та, навпаки, нитки та пряжа низького крутіння мають низьку жорсткість на згин та велику ступінь деформації в зоні контакту.

Важливим фактором є форма та розміри площини контакту нитки з напрямними поверхнями великої та малої кривизни, спрямовувачами нитки у формі тора. Для циліндричних напрямних вона буде мати форму зігнутої

площини. Для спрямовувачами нитки у формі тора вона буде мати складну просторову форму, що пов'язано з радіальним охопленням нитки поверхнею напрямної. Розміри площини контакту нитки з напрямними поверхнями та наявність радіального охоплення впливають на величину коефіцієнту тертя. При збільшенні площини контакту та кута радіального охоплення він буде зростати [1, 2].

Нерівномірність геометричних розмірів перетину нитки по довжині та вхідного натягу за часом суттєво впливають на значення натягу нитки після проходження напрямної [4-8]. При цьому, важливе значення має швидкість руху нитки. При збільшенні швидкості руху зростають значення динамічних навантажень в зоні взаємодії нитки з циліндричними напрямними поверхнями великої та малої кривизни, спрямовувачами нитки у формі тора.

Розв'язання цих питань потребує розробки основ статички, кінематики та динаміки процесу взаємодії нитки з направляючою у формі тора при урахуванні деформації перетину в зоні контакту, жорсткості на згин та зміни коефіцієнту тертя при радіальному охопленні нитки поверхнею напрямної.

2.1. Геометричні, кінематичні та динамічні компоненти точок нитки при її взаємодії з напрямною великої кривизни

Напруга, що виникає в довільному перетині нитки, можна привести до головного вектора \vec{P}_0 і головному моменту \vec{M}_0 , які прикладені в центрі тяжіння перетину. В процесі переробки на круглов'язальних машинах великого діаметру, при взаємодії з направляючими великої кривизни у формі тора, відбувається зміна форми осі та перетину нитки [1, 2], що приводить до зміни кривизни і кручення останньої. При зминанні в зоні контакту відбувається деформація поперечного перетину ниток, що викликає зсув центру тяжіння перетину. В зоні контакту з направляючою великої кривизни у формі тора відбувається зміна положення осі нитки по відношенню до лінії, що визначає форму осі абсолютно жорсткої на зминання нитки. Таке переміщення приводить до зростання або зменшення радіусу кривизни осі нитки в зоні контакту з направляючою у формі тора залежно

від її фізико-механічних характеристик. При складанні диференціальних рівнянь рівноваги нескінченно малого елемента нитки що зминається на направляючій поверхні у формі тора, необхідно знати закон зміни кривизни осі нитки залежно від деформації перетину в отворі напрямної.

На рис.2.1а представлена розрахункова схема деформації у зоні контакту з направляючою у формі тора.

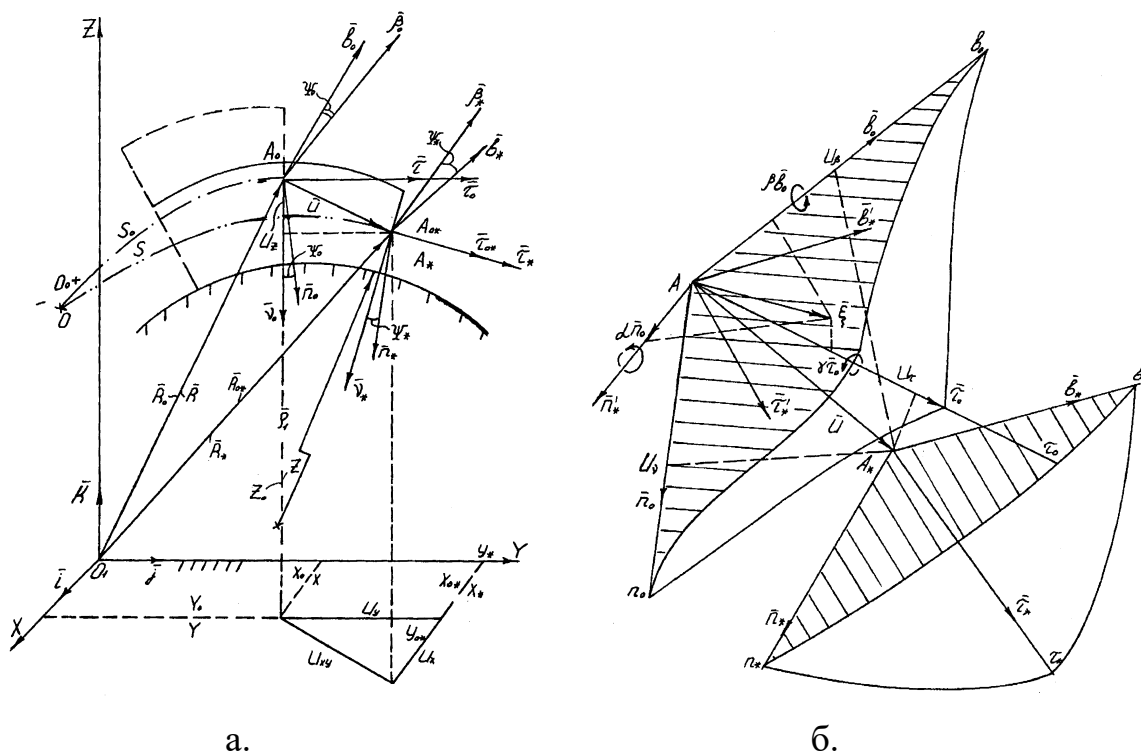


Рис.2.1. Схема для визначення геометричних характеристик форми осі нитки при взаємодії з напрямними великої кривизни у формі тора та співвідношення між вектором переміщення та вектором оберту натурального тригранника

Для опису форми осі деформованої в перетині нитки з направляючою у формі тора необхідно ввести три координатні системи [1]. Дві системи рухомі: натурального тригранника $\tau_* \nu_* \beta_*$ і головного тригранника $\tau_* \nu_* b_*$. Нерухома координатна система O_1XYZ утворюється перетином осей X, Y, Z , напрям яких визначається одиничними ортами i, j, k [1]. Дотична вісь τ_* натурального тригранника отримується шляхом перетину випрямляючої і дотичної площин [1]. Нормальна вісь ν_* прямує до центру кривизни і отримується шляхом перетину нормальної і дотичної площин. Бінормаль β_* отримується шляхом перетину

нормальної і випрямляючої площин. Нормальна вісь n_* головного тригранника $\tau_* n_* b_*$ прямує по нормалі до направляючої поверхні в даній точці [1, 2]. У загальному випадку нормаль n_* головного тригранника і нормаль v_* натурального тригранника не співпадають.

Радіус-вектор R_0 визначає положення точки A_0 на S_0 - лінії щодо координатної системи O_1XYZ [1]. Радіус-вектор R визначає у випадку радіального охоплення положення точки A_0 на S - лінії щодо нерухомої координатної системи. В результаті при зминанні нитки точка $A(A_0)$ переміститься в нове положення. Новий радіус-вектор R_0^* визначить положення точки A_0^* на S_0 - лінії, а радіус-вектор R_* - положення точки A_0^* на S - лінії. Вектор між точками A і A_* позначимо U_{Δ}^{β} . Цей вектор характеризує зсув точок за рахунок деформації перетину нитки у випадку радіального охоплення.

Векторні вирази для визначення положення точок для направляючій у формі тора A_0^* та A_* в фізичних координатах S_0, t і A_* в геометричних координатах S, t матимуть вигляд

$$\overrightarrow{R_{0*}} = \overrightarrow{R_0} + \overrightarrow{U_{\Delta}^{\beta}}, \quad \overrightarrow{R_*} = \overrightarrow{R_*} + \overrightarrow{U_{\Delta}^{\beta}}. \quad (2.1)$$

Диференціюючи рівняння (2.1) по відповідних дугових координатах, отримаємо встановити залежність між одиничними ортами в різних системах координатних осей

$$\overrightarrow{\tau_{0*}} = \overrightarrow{\tau_0} + \frac{\partial \overrightarrow{U_{\Delta}^{\beta}}}{\partial S_0}, \quad \overrightarrow{\tau_*} = \overrightarrow{\tau} + \frac{\partial \overrightarrow{U_{\Delta}^{\beta}}}{\partial S}. \quad (2.2)$$

Для визначення залежності, що визначає одиничний орт головної нормалі залежно від вибору дугових координат у випадку радіального охоплення, диференціюючи рівняння (2.2) ще раз по відповідних фізичних S_0 і геометричних координатах S , отримаємо

$$\overrightarrow{v_*} = (1 + \varepsilon) \overrightarrow{v_0} \frac{\rho_*}{\rho_{0*}} + (1 + \varepsilon) \rho_* \frac{\partial^2 \overrightarrow{U_{\Delta}^{\beta}}}{\partial S_0^2} + \frac{\partial \varepsilon}{\partial S_0} \rho_* \overrightarrow{\tau_{0*}}. \quad (2.3)$$

Для визначення одиничного орта бінормалі, у випадку радіального охоплення, скористуємося векторним рівнянням

$$\vec{\beta}_* = (1 + \varepsilon)^2 \left[\vec{\beta}_0 \frac{\rho_*}{\rho_{0*}} + \frac{\partial \vec{U}_{\Delta}^{\beta}}{\partial S_0} \times \vec{v}_0 \frac{\rho_*}{\rho_{0*}} + \vec{\tau}_0 \times \frac{\partial^2 \vec{U}_{\Delta}^{\beta}}{\partial S_0^2} \rho_* + \frac{\partial \vec{U}_{\Delta}^{\beta}}{\partial S_0} \times \frac{\partial^2 \vec{U}_{\Delta}^{\beta}}{\partial S_0^2} \rho_* \right].$$

Перейдемо до визначення кривизни осі нитки що деформується для направляючій у формі тора. На рис.2.1б представлено графічне зображення співвідношення між вектором переміщення та вектором оберту натурального тригранника у випадку радіального охоплення. Представимо одиничні орти головного тригранника в точці A_* у вигляді

$$\vec{\tau}_* = \vec{\tau}_0 - \alpha \vec{b}_0 + \beta \vec{n}_0, \vec{n}_* = \vec{n}_0 - \beta \vec{\tau}_0 + \gamma \vec{b}_0, \vec{b}_* = \vec{b}_0 + \alpha \vec{\tau}_0 - \gamma \vec{n}_0, \quad (2.4)$$

де α, β, γ - проєкції вектора повороту $\vec{\xi}$ на осі головного тригранника $A\tau_0 n_0 b_0$ у випадку радіального охоплення.

Перші похідні одиничних ортів (2.4) по дуговій координаті через проєкції, для направляючій у формі тора, можна представити у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_{\Delta\tau}^{\beta}}{\partial S} - q_0 U_{\Delta v}^{\beta} + p_0 U_{\Delta\beta}^{\beta} &= 0, \quad \frac{\partial U_{\Delta v}^{\beta}}{\partial S} + q_0 U_{\Delta\tau}^{\beta} - r_0 U_{\Delta\beta}^{\beta} = \beta, \\ \frac{\partial U_{\Delta\beta}^{\beta}}{\partial S} - p_0 U_{\Delta\tau}^{\beta} + p_0 U_{\Delta v}^{\beta} &= -\alpha, \quad q_0 = \frac{\cos \Psi_0}{\rho_0}, \quad p_0 = \frac{\sin \Psi_0}{\rho_0}, \quad r_0 = \frac{1}{\rho_{01}} + \frac{\partial \Psi_0}{\partial S}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

ρ_{01} - радіус кривизни геометричного кручення осі нитки для направляючій у формі тора;

Ψ_0 - кут Сен-Венана у випадку радіального охоплення.

Якщо нехтувати проєкцією вектора \vec{U}_{Δ}^{β} на дотичну вісь ($U_{\Delta\tau}^{\beta} = 0$) і вважати, що нитка розташовується в дотичній площині ($U_{\Delta\beta}^{\beta} = 0$), то тоді з (2.5) визначимо

$$\frac{1}{\rho_1} = \frac{1}{\rho_0} + \frac{\partial^2 U_{\Delta v}^{\beta}}{\partial S^2} - \frac{U_{\Delta v}^{\beta}}{\rho_0^2}.$$

Перейдемо до визначення швидкостей і прискорень точок осі нитки яка деформується в зоні контакту у випадку радіального охоплення. На рис. 2.2 представлена розрахункова схема для визначення швидкостей та прискорень нитки в зоні деформації для направляючій у формі тора. Положення точки A_* щодо нерухомої координатної системи O_1XYZ визначається радіус-вектором R_* . Положення точки A на осі незім'ятої нитки визначається радіус-вектором R у

випадку радіального охоплення. При деформації поперечного перетину у випадку радіального охоплення в зоні контакту точка A переміститься в положення A_* . Вектор AA_* позначимо через U_{Δ}^{β} .

Диференціюючи векторне рівняння для радіус-вектора за часом, отримаємо

$$\vec{V}_* = \vec{V} + \frac{\partial \vec{U}_{\Delta}^{\beta}}{\partial t}, \quad (2.6)$$

де V - швидкість точки A у випадку радіального охоплення.

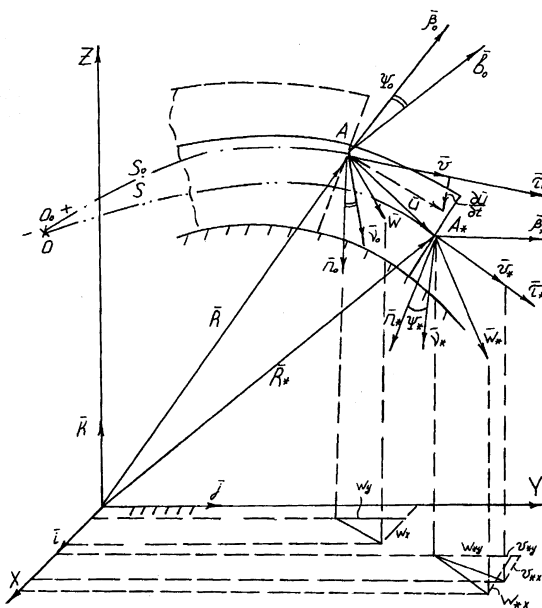


Рис.2.2. Розрахункова схема для визначення швидкостей та прискорень нитки в зоні контакту у випадку радіального охоплення

Система рівнянь, для швидкостей точок осі нитки що деформується в зоні контакту, для направляючій у формі тора у випадку радіального охоплення матиме наступні вирази

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \vec{V}_x}{\partial S} \right)_{\tau} &= \frac{\partial V_{x\tau}}{\partial S} + V_{xb} p_1 - V_{xn} q_1, & \left(\frac{\partial \vec{V}_x}{\partial t} \right)_{\tau} &= \frac{\partial V_{x\tau}}{\partial t} + \omega_2 V_{*b} - \omega_3 V_{*n}, \\ \left(\frac{\partial \vec{V}_x}{\partial S} \right)_{n} &= \frac{\partial V_{xn}}{\partial S} - V_{xb} r_1 + V_{x\tau} q_1, & \left(\frac{\partial \vec{V}_x}{\partial t} \right)_{n} &= \frac{\partial V_{xn}}{\partial t} - \omega_1 V_{*b} + \omega_3 V_{*\tau}, \\ \left(\frac{\partial \vec{V}_x}{\partial S} \right)_{b} &= \frac{\partial V_{xb}}{\partial S} + V_{xn} r_1 - V_{x\tau} p_1, & \left(\frac{\partial \vec{V}_x}{\partial t} \right)_{b} &= \frac{\partial V_{xb}}{\partial t} + \omega_1 V_{*n} - \omega_2 V_{*\tau}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

де $r_1 = \frac{1}{\rho_{*1}} + \frac{\partial \psi_*}{\partial S}$, $p_1 = \frac{\sin \psi_*}{\rho_1}$, $q_1 = \frac{\cos \psi_*}{\rho_1}$ - складові вектора повної кривизни у випадку радіального охоплення;

ψ_* - значення кута Сен-Венана в точці A_* ;

$V_{x\tau}, V_{xn}, V_{xb}$ - відповідно проекції вектора швидкості V_* на осі τ, n, b головного тригранника для направляючій у формі тора;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ - відповідно проекції вектора кутової швидкості ω_e елемента нитки на осі головного тригранника у випадку радіального охоплення (з урахуванням кутової швидкості деформаційного кручення [1]).

Система диференціальних рівнянь (2.7), для направляючій у формі тора, дозволяє визначити закон зміни швидкості V_* залежно від часу t . Для визначення залежності між проекціями вектора прискорення від дугової координати у випадку радіального охоплення, диференціюємо систему (2.7) по t , отримаємо

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \vec{W}_*}{\partial t} \right)_{\tau} &= \frac{\partial W_{*\tau}}{\partial t} + \frac{\partial \omega_2}{\partial S} V_{*b} + \omega_2 \frac{\partial V_{*b}}{\partial S} - \frac{\partial \omega_3}{\partial S} V_{*n} - \omega_3 \frac{\partial V_{*n}}{\partial S}, \\ \left(\frac{\partial \vec{W}_*}{\partial t} \right)_{n} &= \frac{\partial W_{*n}}{\partial S} + \frac{\partial \omega_3}{\partial S} V_{*\tau} + \omega_3 \frac{\partial V_{*\tau}}{\partial S} - \frac{\partial \omega_1}{\partial S} V_{*b} - \omega_1 \frac{\partial V_{*b}}{\partial S}, \\ \left(\frac{\partial \vec{W}_*}{\partial t} \right)_{b} &= \frac{\partial W_{*b}}{\partial S} + \frac{\partial \omega_1}{\partial S} V_{*n} + \omega_1 \frac{\partial V_{*n}}{\partial S} - \frac{\partial \omega_2}{\partial S} V_{*\tau} - \omega_2 \frac{\partial V_{*\tau}}{\partial S}. \end{aligned}$$

де $\left(\frac{\partial \vec{W}_*}{\partial t} \right)_{\tau}, \left(\frac{\partial \vec{W}_*}{\partial t} \right)_{n}, \left(\frac{\partial \vec{W}_*}{\partial t} \right)_{b}$ - проекції вектора першої похідної прискорення точки A_*

по дуговій координаті на осі головного тригранника для направляючій у формі тора.

Для складання систем диференціальних рівнянь, які описують рівновагу елемента нитки на напрямній поверхні у формі тора, необхідно всі зовнішні сили і реакції зв'язків, нитки, що діють на елемент нескінченно малої довжини dS , представити у вигляді головного вектора R_0 і головного моменту M_0 . Дані вектора приведемо до точки A_* - центру мас виділеного елемента нитки у випадку радіального охоплення. До даної точки приводиться і результуюча сила інерції Φ_* і вектор моменту інерції M_F . Головний трикутник τ_*, n_*, b_* , з вершиною в точці A_* , служить координатною системою у випадку радіального охоплення, щодо якої розглядається умовна рівновага всіх сил і моментів для направляючій у формі тора [1, 2]. Векторні рівняння

$$\frac{\partial \vec{R}}{\partial S} + \vec{R}_0 - \vec{\Phi}_* = 0, \quad \frac{\partial \vec{M}}{\partial S} + \vec{M}_0 + \vec{\tau}_* \times \vec{Q} - \vec{M}_\phi = 0, \quad (2.8)$$

описують рух нескінченно малого елемента нитки у випадку радіального охоплення. Головні вектор R та момент M , для направляючій у формі тора, визначаються наступними векторними рівняннями

$$\vec{R} = P\vec{\tau}_* + Q_2\vec{n}_* + Q_3\vec{b}_*, \quad \vec{M} = M_k\vec{\tau}_* + M_{u_2}\vec{n}_* + M_{u_3}\vec{b}_*. \quad (2.9)$$

Для отримання системи диференціальних рівнянь, для направляючій у формі тора, необхідно векторні рівняння (2.8) спроектувати на осі головного тригранника τ_* , n_* , b_* , з урахуванням (2.9) отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial S} - Q_2 q_1 + Q_3 p_1 - 4 \frac{\sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{aR^b}{P_0^b} N \cos \phi_t &= T \left[\frac{\partial (V_\tau + U_{\Delta\tau}^{\beta'})}{\partial t} + \right. \\ &+ (\omega_{0n} + \omega_{un})(V_b + U_{\Delta b}^{\beta'}) - (\omega_{0b} + \omega_{ub})(V_n + U_{\Delta n}^{\beta'}) \left. \right], \\ \frac{\partial Q_2}{\partial S} + P q_1 + Q_3 r_1 - N &= T \left[\frac{\partial (V_n + U_{\Delta n}^{\beta'})}{\partial t} - \right. \\ &- (\omega_{0\tau} + \omega_{u\tau})(V_b + U_{\Delta b}^{\beta'}) + (\omega_{0b} + \omega_{ub})(V_\tau + U_{\Delta\tau}^{\beta'}) \left. \right], \\ \frac{\partial Q_3}{\partial S} - P p_1 + Q_2 r_1 + 4 \frac{\sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{aR^b}{P_0^b} N \sin \phi_t &= T \left[\frac{\partial (V_b + U_{\Delta b}^{\beta'})}{\partial t} + \right. \\ &+ (\omega_{0\tau} + \omega_{u\tau})(V_n + U_{\Delta n}^{\beta'}) - (\omega_{0n} + \omega_{un})(V_\tau + U_{\Delta\tau}^{\beta'}) \left. \right], \\ \frac{\partial M_k}{\partial S} - M_{u_2} q_1 + B q_1 p_1 + M_\tau &= \gamma_n \left[J_{\tau_0} \pm \Delta_\tau (\vec{U}_\Delta^\beta) \right] \varepsilon_1, \\ \frac{\partial M_{u_2}}{\partial S} + M_k q_1 + B q_1 r_1 - Q_3 + M_n &= \gamma_n \left[J_{n_0} \pm \Delta_n (\vec{U}_\Delta^\beta) \right] \varepsilon_2, \\ \frac{\partial (B q_1)}{\partial S} - M_k p_1 + M_{u_2} r_1 + Q_2 + r_x 4 \frac{\sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{aR^b}{P_0^b} N &= \gamma_n \times \\ \times \left[J_{b_0} \pm \Delta_b (\vec{U}_\Delta^\beta) \right] \varepsilon_3, \quad N &= b_2 E_1 \delta_1 (1 - b_3 \delta_1^{b_4}) + \eta \dot{\delta}_1^{b_5} (1 - b_3 \dot{\delta}_1^{b_6}), \end{aligned} \quad (2.10)$$

та рівняння для визначення головних компонентів кривизни у випадку радіального охоплення

$$\begin{aligned}
q_1 &= \frac{\cos \Psi_0}{\rho_0} + \frac{\partial \beta}{\partial S} + \frac{\alpha}{\rho_{01}} + \alpha \frac{\partial \Psi_0}{\partial S}, \quad p_1 = \frac{\sin \Psi_0}{\rho_0} + \frac{\partial \alpha}{\partial S} - \frac{\beta}{\rho_{01}} - \beta \frac{\partial \Psi_0}{\partial S}; \\
r_1 &= \frac{1}{\rho_0} + \frac{\partial \Psi_0}{\partial S} - \alpha \frac{\cos \Psi_0}{\rho_0} + \frac{\sin \Psi_0}{\rho_0} \beta, \quad \gamma = \frac{\partial U_{\Delta\tau}^\beta}{\partial S} - \frac{\cos \Psi_0}{\rho_0} U_{\Delta\nu}^\beta + \frac{\sin \Psi_0}{\rho_0} U_{\Delta\beta}^\beta; \\
\beta &= \frac{\partial U_{\Delta\nu}^\beta}{\partial S} + \frac{\cos \Psi_0}{\rho_0} U_{\Delta\tau}^\beta - \frac{U_{\Delta\beta}^\beta}{\rho_{01}} - U_{\Delta\beta}^\beta \frac{\partial \Psi_0}{\partial S}, \quad \alpha = \frac{\sin \Psi_0}{\rho_0} U_{\Delta\tau}^\beta - \frac{\partial U_{\Delta\beta}^\beta}{\partial S} - \frac{U_{\Delta\nu}^\beta}{\rho_{01\nu}} - U_{\Delta\nu}^\beta \frac{\partial \Psi_0}{\partial S}.
\end{aligned} \tag{2.11}$$

де B – коефіцієнт жорсткості нитки на згин;

ρ_0, ρ_{01} - радіуси кривизни і геометричного крутіння осі нитки у випадку радіального охоплення;

Ψ_0 - кут Сен-Венана у випадку радіального охоплення;

$U_{\Delta\tau}^\beta, U_{\Delta\nu}^\beta, U_{\Delta\beta}^\beta$ – проєкції вектора поперечної деформації перетину на осі натурального тригранника для направляючої у формі тора;

b - ширина сліду контакту для направляючої у формі тора;

δ_1' - швидкість відносної деформації поперечного перетину нитки у випадку радіального охоплення;

η - коефіцієнт, що характеризує в'язкі властивості нитки при її поперечній деформації у випадку радіального охоплення;

E_1 - поточний модуль жорсткості нитки на деформацію її перетину для направляючої у формі тора;

b_3, b_4, b_5, b_6 - експериментальні коефіцієнти, які визначаються з діаграми "навантаження - деформація" у випадку радіального охоплення [2].

2.2. Взаємодія ниток з направляючими структурними елементами великої кривизни системи подачі нитки круглов'язальної машини

В процесі переробки нитки взаємодіють з направляючими поверхнями великої кривизни у випадку радіального охоплення. На рис.2.3 а - д представлені такі випадки, коли має місце радіальне охоплення нитки направляючою поверхнею [4-6]. Виникаючі при цьому навантаження в зоні контакту можуть призводити до обриву нитки.

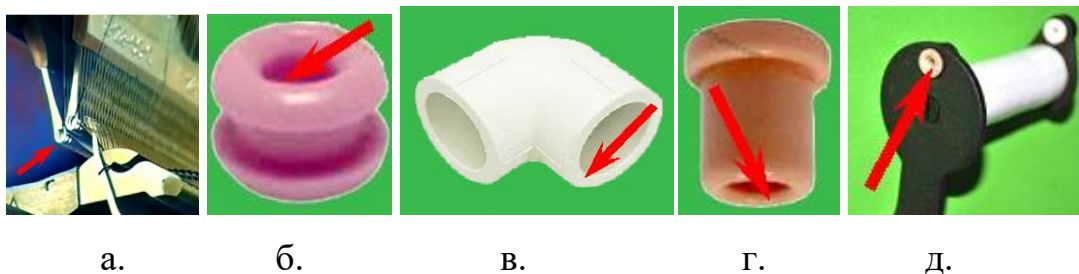


Рис.2.3. Робочі органи технологічних машин: а – отвори гребінок основов’язальної машини; б, г – спрямовувачі нитки у формі тора; в – перехідний елемент фідерного спрямовувача; д – пальцевий натягувач нитки

На рис.2.4 показана загальна розрахункова схема взаємодії нитки з напрямною у формі тора у випадку радіального охоплення. Нитка огинає циліндричну напрямну поверхню у формі тора радіусу R . Вхідний натяг нитки дорівнює P_0 , а вихідний натяг нитки дорівнює P . Кут охоплення ниткою циліндричної напрямної у випадку радіального охоплення дорівнює

$$\varphi = \varphi_P + \varphi_{cm1} + \varphi_{cm2} - \varphi_{ижс1} - \varphi_{ижс2}, \quad (2.12)$$

де φ_P - кут охоплення ниткою напрямної у формі тора без урахування змінання та жорсткості на згин;

$\varphi_{cm1}, \varphi_{cm2}$ - кути, на які збільшується кут φ_P за рахунок деформації зминання в зоні контакту нитки з напрямною у формі тора;

$\varphi_{ижс1}, \varphi_{ижс2}$ - кути, на які зменшується кут φ_P за рахунок наявності жорсткості нитки на згин у випадку радіального охоплення.

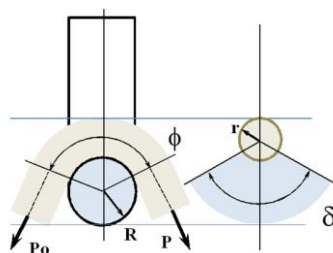


Рис.2.4. Загальна розрахункова схема взаємодії нитки з напрямною у формі тора
Пошук взаємозв’язку між натягом ведучої P та веденої P_0 гілки нитки необхідно починати з встановлення залежності між натягом P_0 та натягом в точці P_A (точка

входу нитки на напрямну у формі тора) та натягом P та натягом в точці P_B (точка сходу нитки з напрямної у формі тора у випадку радіального охоплення).

На цих ділянках вільні гілки нитки підпорядковуються законам пружних на згин одновимірних об'єктів. Завдяки наявності жорсткості нитки на згин реальний кут охоплення напрямної у формі тора буде становити

$$\varphi = \varphi_P - \gamma_0 - \gamma,$$

де γ_0, γ - кути жорсткості, які визначаються нахилом дотичних в точках A та B напрямної у формі тора до вертикальної прямої (або вісі y) у випадку радіального охоплення.

Таким чином, необхідно визначити значення кутів γ_0, γ . Після розв'язання рівняння рівноваги пружної лінії для направляючої у формі тора отримаємо наступні залежності [3-5]

$$\cos \gamma_0 = 1 - \frac{B_0}{2P_0(R+r)^2}, \quad \cos \gamma = 1 - \frac{B_0}{2P(R+r)^2}. \quad (2.13)$$

де $B_0 = EI$ - коефіцієнт жорсткості нитки на згин у випадку радіального охоплення;

E - модуль пружності нитки на розтягування;

$I = \pi d^4 / 64$ - осьовий момент інерції перетину нитки;

d - розрахунковий діаметр комплексної нитки чи пряжі.

Перейдемо для розгляду питання, яке спрямовано на визначення закону зміни натягу нитки на ділянці AB поверхні напрямної у формі тора.

Система диференціальних рівнянь у випадку радіального охоплення, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки $dS = (R+r)d\varphi$ (S - дугова координата), має вид [4, 5, 7]

$$\frac{dP}{ds} = F_{mp}, \quad \frac{P}{[R+r(1-\delta_1)]} = N, \quad N = bE_1\delta_1, \quad F_{mp} = fN^n, \quad f = \frac{4\sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{a}{b\phi^n}, \quad (2.14)$$

де P - натяг нити для направляючої у формі тора;

F_{mp} - сила тертя, яка діє на нескінченно малого елемента нитки;

N - питома нормальна реакція направляючої поверхні у формі тора;

S - дугова координата у випадку радіального охоплення;

b - ширина сліду контакту нитки з направляючою поверхнею;

де - a, b, n, n_1 деякі константи, значення яких залежить від виду матеріалів нитки та направляючій у формі тора та умов взаємодії між ними;

E_1 - модуль пружності нитки при стисненні на направляючій поверхні у формі тора [2].

З системи (2.14), розділяючи змінні, отримаємо наступне диференціальне рівняння

$$\frac{d}{ds} \{ [R + r(1 - \delta_1)] b E_1 \delta_1 \} = \frac{4 \sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{a}{b \phi^{n_1}} (b E_1)^n (\delta_1)^n.$$

Проінтегруємо останнє диференціальне рівняння. В остаточно вигляді отримаємо формулу у випадку радіального охоплення

$$(\delta_1)^{1-n} = (\delta_{01})^{1-n} + \frac{4 \sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{(1-n)a(bE_1)^{n-1}}{b(1-n_1)} \phi^{1-n_1}. \quad (2.15)$$

При $n \rightarrow 1$, отримаємо остаточно

$$\delta_1 = \delta_{01} e^{\frac{4 \sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} \frac{a \phi^{1-n_1}}{b(1-n_1) [bE_1(\delta_0)]^{1-n}}}. \quad (2.16)$$

Для випадку, коли коефіцієнт тертя для направляючій у формі тора є постійною величиною, враховуючи рівняння (2.14), при $n_1 = 0$, отримаємо

$$\delta_1 = \delta_{01} e^{\frac{4 \sin(\frac{\delta}{2}) a \phi}{\delta + \sin(\delta) b [bE_1(\delta_0)]^{1-n}}}. \quad (2.17)$$

Підставляємо (2.17) в перше рівняння системи (2.14), після інтегрування будемо мати

$$P = P_0 \left[1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_{01})]} \left(e^{\frac{4 \sin(\frac{\delta}{2}) a \phi}{\delta + \sin(\delta) b}} - 1 \right) \right] + \left[\frac{B_0}{2[R+r(1-\delta_1)]^2} \right] - \left[\frac{B_0}{2[R+r(1-\delta_{01})]^2} \right] \left[1 + \frac{(R+r)}{[R+r(1-\delta_{01})]} \left(e^{\frac{4 \sin(\frac{\delta}{2}) a \phi}{\delta + \sin(\delta) b}} - 1 \right) \right] \quad (2.18)$$

Кут φ , для направляючій у формі тора, можна визначити з використанням формул

$$\begin{aligned} \varphi_{см1} &= \arccos \left[1 - \delta_{01} \left(\frac{2r}{R} \right)^2 \right], & \varphi_{см2} &= \arccos \left[1 - \delta_1 \left(\frac{2r}{R} \right)^2 \right], \\ \varphi_{уж1} &= \arccos \left[1 - \frac{B_0}{2P_0(R+r)^2} \right], & \varphi_{уж2} &= \arccos \left[1 - \frac{B_0}{2P(R+r)^2} \right] \end{aligned} \quad (2.19)$$

Рівняння (2.18) необхідно вирішувати з використанням систем (2.16), (2.19).

Отримана залежність для направляючій у формі тора представляє трансцендентне рівняння відносно P . Для його вирішення використовувалися чисельні методи з використанням алгоритму дихотомії (ділення відрізка навпіл). Для цього було розроблене спеціальне програмне забезпечення.

В таблиці 2.1 представлені результати розрахунків по (2.18) залежності натягу ведучої гілки нитки P для: поліамідної комплексної нитки (ПАН) 174 Т (1 крива), $B=1,3\text{сН}\cdot\text{мм}^2$, $P_0=10$ сН, $r=0,24$ мм, $R=0,5 - 10$ мм, $\varphi_p=3,14$ рад, $n=0,82$, $\delta=0,488$ рад; вовняної пряжі (ВП) 93,5 Т (2 крива), $B=0,3$ сН \cdot мм 2 , $P_0=10$ сН, $r=0,2$ мм, $R=0,5 - 10$ мм, $\varphi_p=3,14$ рад, $n=0,85$, $\delta=0,488$ рад; бавовняної пряжі (БП) 100Т(3 крива), $B=2,5\text{сН}\cdot\text{мм}^2$, $P_0=10$ сН, $r=0,21$ мм, $R=0,5 - 10$ мм, $\varphi_p=3,14$ рад, $n=0,78$, $\delta=0,488$ рад.

По даним таблиці 2.1 побудовані графічні залежності натягу ведучої гілки нитки P в залежності від натягу веденої гілки P_0 , радіусу кривизни спрямовувача у формі тора R та кута радіального охоплення δ , які представлені на рис.2.5.

Аналіз графічних залежностей на рис.2.5 показав, що натяг ведучої гілки нитки для трьох обраних зразків змінюється при зростанні радіусу кривини напрямної. На першій ділянці, при зміні радіусу з 0.5 до 2-5 мм, натяг зменшується. Це пов'язано зі зміною сумарного кута охоплення. Мінімальне значення натягу для поліамідної комплексної нитки 174 Т буде коли радіус дорівнюватиме 2.6 мм, для віскозної штапельної пряжі 93,5 Т коли радіус дорівнюватиме 3.8 мм та для бавовняної пряжі 100Т коли радіус дорівнюватиме 2.9 мм.

Таблиця 2.1

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , мм	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН δ =28°</i>								
	<i>Натяг веденої гілки P₀=5 сН</i>			<i>Натяг веденої гілки P₀=10 сН</i>			<i>Натяг веденої гілки P₀=15 сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	8.78	7.65	8.34	17.64	15.34	17.17	26.79	23.14	26.32
3.61	8.83	7.69	8.42	17.26	15.16	16.87	25.62	22.59	25.36
4.01	8.87	7.7	8.45	17.27	15.16	16.87	25.59	22.57	25.31
5.21	8.98	7.76	8.52	17.37	15.22	16.91	25.62	22.6	25.27
5.61	9.01	7.78	8.54	17.42	15.24	16.93	25.66	22.62	25.28
6.01	9.05	7.8	8.56	17.46	15.27	16.95	25.7	22.65	25.29
7.21	9.15	7.85	8.62	17.6	15.34	17.02	25.85	22.73	25.35
7.61	9.18	7.86	8.63	17.64	15.36	17.04	25.91	22.75	25.37
8.01	9.21	7.88	8.65	17.69	15.39	17.06	25.96	22.78	25.4
9.61	9.33	7.93	8.71	17.86	15.47	17.15	26.18	22.9	25.49
10.01	9.35	7.95	8.72	17.91	15.49	17.17	26.23	22.92	25.52
11.21	9.43	7.98	8.76	18.03	15.56	17.22	26.38	23	25.59
12.01	9.48	8.00	8.78	18.1	15.59	17.26	26.48	23.05	25.63

При подальшому зростанні радіусу напрямної буде відбуватися поступове зростання натягу. Це пояснюється зміною орієнтації окремих елементарних волокон відносно утворюючої поверхні у формі тора [4, 7]. Таким чином, постає питання про оптимізацію розмірів направляючих машин текстильної промисловості у випадку радіального охоплення.

В додатку А представлені результати визначення натягу в залежності від натягу веденої гілки P_0 , радіусу кривизни спрямовувача у формі тора R та кута радіального охоплення δ .

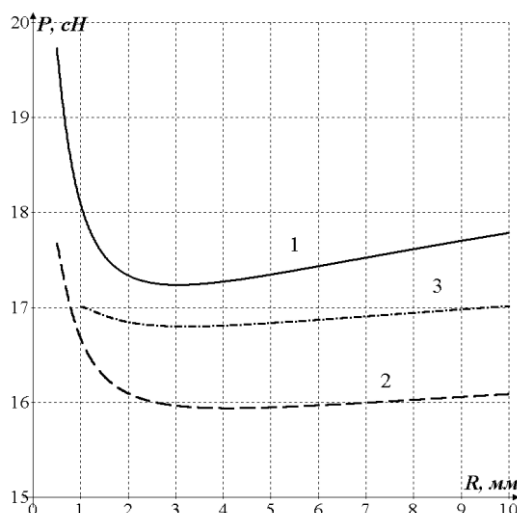


Рис.2.5. Залежності натягу ведучої гілки нитки P в залежності від натягу веденої гілки P_0 , радіусу кривизни спрямовувача у формі тора R та кута радіального охоплення δ

2.3. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин у формі тора

Недосконалість конструкції кільцевих та трубчастих спрямовувачів нитки не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи круглов'язальної машини [5-7]. Особливості процесу взаємодії нитки з направляючими та робочими органами круглов'язальної машини машин, коли має місце радіальне охоплення поверхнею напрямного елемента нитки, призводить до додаткового зростання її натягу до 30%, що визиває обриви [3]. Це негативно впливає на продуктивність устаткування та якість продукції що випускається. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається [3, 5-7]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення конструкції існуючих кільцевих та трубчастих спрямовувачів та розробки нових [5].

Приведений коефіцієнт тертя, при взаємодії нитки з поверхнею кільцевих та трубчастих спрямовувачів, коли має місце радіальне охоплення поверхні нитки напрямною визначається за формулою [3]

$$f = 4 \frac{\sin(\frac{\delta}{2})}{\delta + \sin(\delta)} f_0, \quad (2.20)$$

де f - приведений коефіцієнт тертя;

δ - радіальний кут охоплення поверхні нитки направляючою ;

f_0 - коефіцієнт тертя нитки по направляючій поверхні при відсутності радіального охоплення.

На рис.2.6 показана загальна розрахункова схема. При вирішенні цього питання, для комплексних ниток та пряжі, можна рахувати, що при взаємодію з внутрішньою поверхнею кільцевих та трубчастих спрямовувачів окремі елементарні волокна будуть займати таке положення, при якому їх натяг буде мати мінімальне значення [3]. У цьому випадку можна рахувати, що перетин комплексної нитки чи пряжі деформується і прийме форму сегмента.

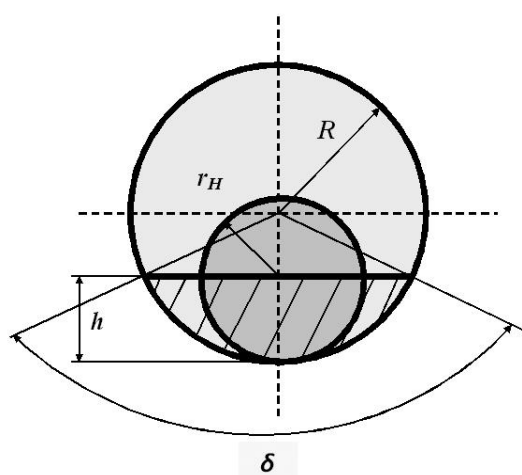


Рис.2.6. Загальна розрахункова схема

Площа сегмента буде визначатися за формулою

$$S_C = R^2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)\sqrt{2Rh-h^2}, \quad (2.21)$$

де S_C - площа сегмента;

R - внутрішній радіус кільцевих та трубчастих спрямовувачів;

h - висота сегмента.

Площа сегмента буде визначатися за формулою

$$S_C = \pi r_H^2, \quad (2.22)$$

де - r_H - радіус поперечного перетину нитки.

З урахуванням рівняння (2.3.3) рівняння (2.3.2) буде мати вигляд

$$\pi r_H^2 = R^2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)\sqrt{2Rh-h^2}. \quad (2.23)$$

Рівняння (2.23) представляє собою трансцендентне рівняння відносно h . Для його вирішення необхідно використовувати чисельні методи. Нами був обраний метод дихотомії.

Цільова функція буде мати вигляд

$$g = \pi r_H^2 - R^2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)\sqrt{2Rh-h^2}, \quad (2.24)$$

де g - значення цільової функції.

Перейдемо до розгляду методу ділення відрізка $[h_i, h_{i+1}]$ навпіл (метод дихотомії). Суть методу полягає в побудові ітераційної послідовності вкладених один в одного відрізків $[h_{in}, h_{i+1n}]$, кінці яких представляють монотонні послідовності $\{h_{in}\}, \{h_{i+1n}\}$, причому

$$x_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}, \quad g_i = \pi r_H^2 - R^2 \arccos\left(\frac{R-x_i}{R}\right) - (R-x_i)\sqrt{2Rx_i-x_i^2} > 0, \\ h_{in} \leq \xi, \quad h_{i+1n} \geq \xi, \quad n = 1, 2, \dots$$

де ξ - корінь трансцендентного рівняння (2.23) на відрізку $[h_i, h_{i+1}]$.

Збіжність даного методу повільна. Проте при будь-якій ширині відрізання $[h_i, h_{i+1}]$ збіжність гарантована. Для реалізації алгоритму методу дихотомії була розроблена спеціальна програма на мові Object Pascal в середовищі Delphi.

Величина радіальний кут охоплення поверхні нитки направляючою буде визначатися за формулою

$$\delta = 2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right). \quad (2.25)$$

Результати розрахунків за формулами (2.20), (2.23), (2.25) представлені в таблицях 2.2, 2.3 та на рис.2.7.

В результаті проведеного дослідження розроблені математичні моделі для визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії нитки з кільцевими та

трубчастими спрямовувачами нитки трикотажних машин з урахуванням їх реальних фізико – механічних властивостей, структури та умов переробки на технологічному обладнанні.

Таблиця 2.2

Результати визначення висоти h сегмента заповненого матеріалом нитки

r_H	R=1.5	R=2	R=2.5	R=3	R=3.5	R=4	R=4.5	R=5
0,1	0,0572	0,0481	0,0430	0,0396	0,0370	0,0349	0,0334	0,0320
0,2	0,1449	0,1216	0,1085	0,0998	0,0933	0,0882	0,0840	0,0806
0,3	0,2507	0,2096	0,1868	0,1715	0,1603	0,1515	0,1444	0,1385
0,4	0,3712	0,3090	0,2749	0,2522	0,2356	0,2227	0,2122	0,2034
0,5	0,5047	0,4180	0,3712	0,3403	0,3178	0,3002	0,2859	0,2741
0,6	0,6509	0,5356	0,4748	0,4349	0,4058	0,3832	0,3650	0,3499
0,7	0,8095	0,6615	0,5851	0,5354	0,4993	0,4713	0,4488	0,4300
0,8	0,9813	0,7950	0,7016	0,6412	0,5976	0,5641	0,5369	0,5144
0,9	0,9999	0,9362	0,8241	0,7523	0,7007	0,6610	0,6290	0,6025
1,0	0,9999	0,9999	0,9521	0,8681	0,8079	0,7618	0,7248	0,6942

Для розв'язання трансцендентного рівняння (2.24) розроблений алгоритм методу половинного розділення відрізка при розв'язанні трансцендентних рівнянь та програмне забезпечення для визначення висоти сегмента заповненого матеріалом нитки, радіального кута охопту поверхні нитки напрямною поверхнею та приведенного коефіцієнту тертя.

Встановлені графічні залежності приведенного коефіцієнту тертя від співвідношення внутрішнього радіусу кільцевих та трубчастих спрямовувачів та розрахункового радіусі поперечного перетину нитки, що дозволяє оптимізувати геометричні параметри робочих органів системи подачі ниток на трикотажному обладнанні з позиції мінімізації натягу в робочій зоні.

Таблиця 2.3

Значення приведенного коефіцієнту тертя

r_H	R=1.5	R=2	R=2.5	R=3	R=3.5	R=4	R=4.5	R=5
0,1	0,5643	0,4025	0,3211	0,2713	0,2369	0,2114	0,1921	0,1766
0,2	0,8710	0,6350	0,5101	0,4319	0,3777	0,3375	0,3065	0,2817
0,3	1,0863	0,8181	0,6638	0,5644	0,4947	0,4428	0,4025	0,3701
0,4	1,2307	0,9665	0,7944	0,6793	0,5973	0,5357	0,4875	0,4486
0,5	1,3128	1,0863	0,9067	0,7808	0,6891	0,6194	0,5644	0,5200
0,6	1,3375	1,1808	1,0035	0,8711	0,7720	0,6957	0,6352	0,5859
0,7	1,3080	1,2519	1,0863	0,9515	0,8475	0,7660	0,7007	0,6471
0,8	1,2271	1,3011	1,1562	1,0230	0,9161	0,8307	0,7614	0,7043
0,9	1,2158	1,3294	1,2140	1,0863	0,9785	0,8905	0,8182	0,7580
1,0	1,2158	1,3354	1,2603	1,1418	1,0351	0,9456	0,8711	0,8085

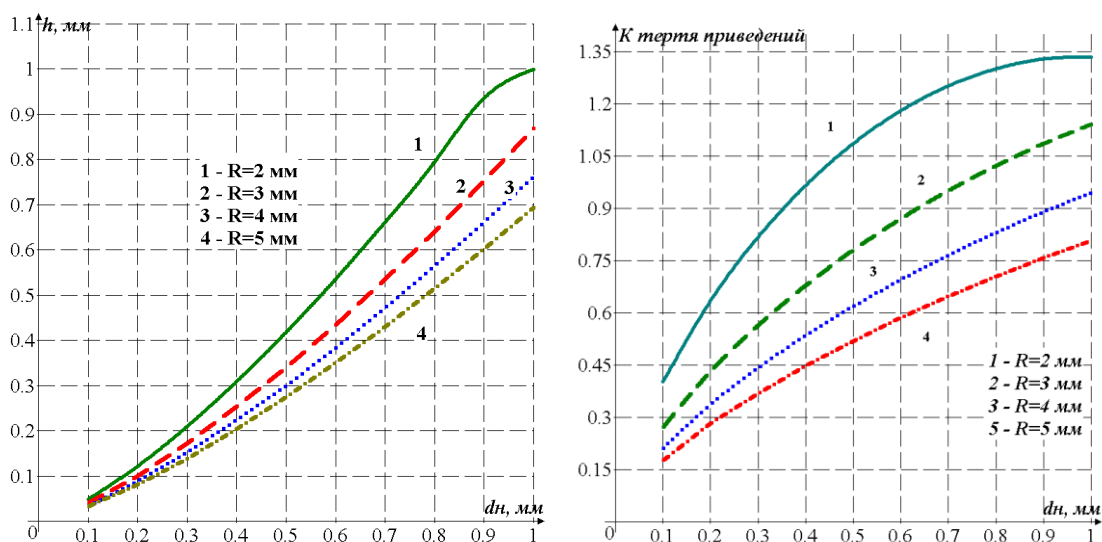
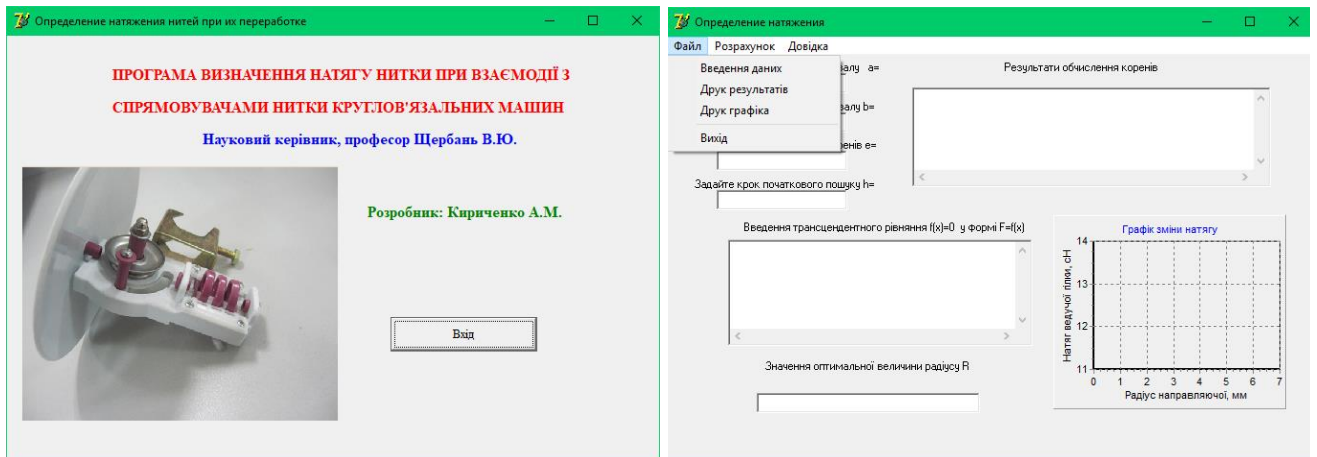


Рис.2.7. Графічні залежності приведенного коефіцієнту тертя та висоти h сегменту

2.4. Алгоритмічне та комп'ютерне програмне забезпечення для визначення натягу нитки після напрямної великої кривизни

Програма для визначення натягу нитки після напрямної великої кривизни у формі тора включає п'ять форм: `Tfrm1NN1 = class(TForm); Tfrm1NN2 = class(TForm); Tfrm1NN3 = class(TForm); Tfrm1NN4 = class(TForm); TFErrors = class(TForm)`. На першій формі програми (рис.2.8а) розташовані наступні елементи: `btn1NN1: TButton; lbl1NN1: TLabel; lbl2NN1: TLabel; lbl3NN1: TLabel; lbl4NN1: TLabel; Image1: TImage`.



а.

б.

Рис.2.8. Перша форма $Tfrm1NN1 = class(TForm)$ програми та основна форма програми для визначення натягу нитки після напямної у формі тора

На основній формі програми $Tfrm1NN2 = class(TForm)$ (рис.2.8б) розташоване головне меню програми `MainMenu1: TMainMenu`. Воно включає три розділи меню: файл; розрахунок; довідка. Розділ меню файл включає наступні підрозділи: введення даних; друк результатів; друк графіка; вихід. Розділ розрахунок включає наступні підрозділи: розрахувати натяг; побудувати графік; розрахувати оптимум. На цій формі розташовані п'ять одно строкових вікон для введення даних та виводу результатів розрахунків: `edt1NN2: TEdit`; `edt2NN2: TEdit`; `edt3NN2: TEdit`; `edt4NN2: TEdit`; `edt5NN2: TEdit`. Одно строкове вікно `edt1NN2: TEdit` призначене для завдання початкової границі інтервалу пошуку кореня трансцендентного рівняння для визначення натягу нитки після напямної великої кривизни у формі тора. Одно строкове вікно `edt2NN2: TEdit` призначене для завдання кінцевої границі інтервалу пошуку кореня трансцендентного рівняння. Одно строкове вікно `edt3NN2: TEdit` призначене для завдання точності обчислення коренів трансцендентного рівняння. Одно строкове вікно `edt4NN2: TEdit` призначене для завдання кроку початкового в ітераційному процесі. Одно строкове вікно `edt5NN2: TEdit` призначене для виводу значення оптимальної величини радіусу R напямної великої кривизни у формі тора.

Багато строкове вікно `Мемо1: TМемо` призначено для введення трансцендентного рівняння (2.18) у формі $F = f(P)$. Багато строкове вікно

mem1NN2: TМето призначене для визначення результатів обчислень коренів трансцендентного рівняння (2.18). В цьому вікні виводяться значення натягу ведучої гілки нитки після напрямної великої кривизни у формі тора в залежності від радіусу кривизни R .

При активації підрозділу введення даних, розділу меню файл, виконується процедура `procedure Tfrm1NN2.n2NN2Click(Sender: TObject)`. При цьому активується форма `Tfrm1NN4 = class(TForm)`. Ця форма призначена для введення необхідних даних для обчислення натягу нитки(рис.2.9).

Рис.2.9. Форма `Tfrm1NN4 = class(TForm)` для введення даних для обчислення натягу нитки

Одно строкове вікно `edt2NN4: TEdit` призначене для введення натягу веденої гілки P_0 до напрямної у формі тора. Одно строкове вікно `edt3NN4: TEdit` призначене для введення значення ширини сліду контакту b_1 нитки на напрямній у формі тора. Одно строкове вікно `edt4NN4: TEdit` призначене для введення значення розрахункового радіусу r перетину нитки чи пряжі. Одно строкове вікно `edt5NN4: TEdit` призначене для введення значення модуля пружності нитки чи пряжі при стисненні E_1 . Одно строкове вікно `edt6NN4: TEdit` призначене для введення значення модуля жорсткості нитки чи пряжі при вигині B_0 . Одно строкове вікно `edt7NN4: TEdit` призначене для введення значення розрахункового значення кута охоплення напрямної у формі тора φ_P . Цей кут визначається при умові відсутності деформації перетину нитки чи пряжі в зоні контакту з напрямною у формі тора та жорсткості нитки на згин. Одно строкове вікно `Edit1:`

TEdit призначене для введення значення кута радіального охоплення напрямною поверхнею нитки в зоні контакту δ . Одно строкові вікна edt8NN4: TEdit, edt9NN4: TEdit призначені для введення значення емпіричних коефіцієнтів a_2, b_2 . Процедура procedure Tfrm1NN2.n7NN2Click(Sender: TObject) призначена для виконання розрахунку натягу нитки.

В якості алгоритму для визначення кореня трансцендентного рівняння (2.18) будемо використовувати метод ділення відрізка навпіл (метод дихотомії). На рис.2.10 представлена блок-схема алгоритму ділення відрізка навпіл. Необхідно побудувати ітераційну послідовність вкладених один в одного відрізків $[a_n, b_n]$, кінці яких представляють монотонні послідовності. Необхідні умови для ітераційної послідовності мають вигляд

$$a_n \leq \xi, b_n \geq \xi, n = 1, 2, \dots$$

де ξ - корінь трансцендентного рівняння (2.2.28) на відріжку $[a, b]$.

Будемо вважати, що $f(a)f(b) < 0$ та $f(a) < 0, f(b) > 0$. Беремо середню точку відріжку $[a, b]$

$$\xi_1 = \frac{a+b}{2}.$$

Обчислюємо в даній точці значення функції $f(x)$. Припустимо, що $f(\xi_1) = 0$. В цьому випадку процес визначення кореня трансцендентного рівняння закінчується. Якщо $f(\xi_1) \neq 0$, то розглядаємо два відрізка $[a, \xi_1]$ та $[\xi_1, b]$. Вибираємо той з них, де виконується умова $f(a)f(\xi_1) < 0$ або $f(\xi_1)f(b) < 0$. Вибраний відрізок знову поділяємо навпіл приймаючи $a_1 = a, b_1 = \xi_1$ або $a_1 = \xi_1, b_1 = b$. Обчислюємо нове значення центру відріжку

$$\xi_2 = \frac{a_1 + b_1}{2}.$$

Продовження процесу ділення дозволяє отримати ітераційну послідовність вкладених один в одного відрізків $[a_n, b_n]$. Необхідна система нерівностей має вигляд

$$a_n \leq a_{n+1} < b_{n+1} \leq b_n.$$

Аналіз останньої нерівності показує, що величина a_n визначає корінь ξ трансцендентного рівняння з лівого боку обраного відрізка, а величина b_n з правого боку обраного відрізка. Помилка при цьому не перевищує поточну довжину відрізка $b_n - a_n$ і прагне до нуля при збільшенні n за законом геометричної прогресії із знаменником 0,5. Число ітерацій N , необхідне для досягнення заданої точності ε , визначається з виразу

$$N \approx \frac{\ln\left(\frac{b-a}{\varepsilon}\right)}{\ln 2}.$$

Програма дозволяє визначати натяг нитки після направляючої у формі тора для різних значень радіусу кривизни R напрямної великої кривизни у формі тора. В програмі реалізовані два цикли. Перший дозволяє визначати натяг нитки після напрямної великої кривизни у формі тора для фіксованого значення радіусу кривизни R напрямної великої кривизни у формі тора. Зовнішній цикл забезпечує зміну радіусу кривизни на обраному інтервалі, величина якого обумовлена конструкцією окремих спрямовувачів круглов'язальної машини великого діаметру.

При виконанні процедури `procedure Tfrm1NN2.n7NN2Click(Sender: TObject)` результати послідовно відображаються в багато строковому вікні `mem1NN2: TМемо`.

Виконання процедури `procedure Tfrm1NN2.n8NN2Click(Sender: TObject)` (рис.2.11а) дозволяє будувати графічну залежність величини натягу ведучої гілки нитки в залежності від радіусу кривизни R напрямної великої кривизни у формі тора. Величина інтервалу зміни радіусу направляючої може змінюватися програмно.

Комп'ютерна програма дозволяє визначити радіусу кривизни R напрямної великої кривизни у формі тора, при якому натяг ведучої гілки нитки буде мінімальним. Для цього реалізована процедура `procedure Tfrm1NN2.n9NN2Click(Sender: TObject)`.

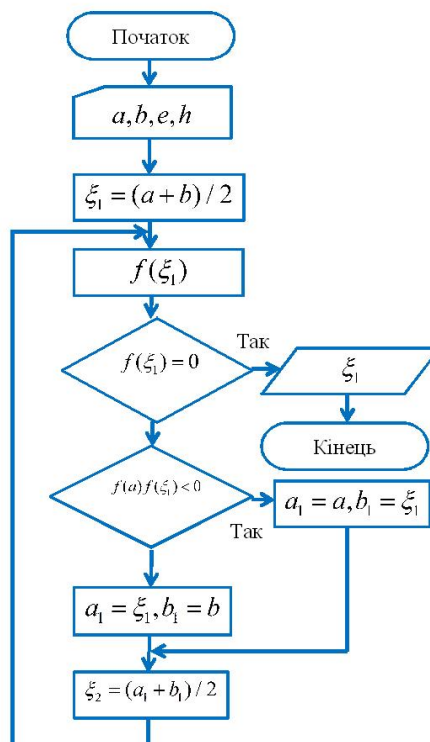
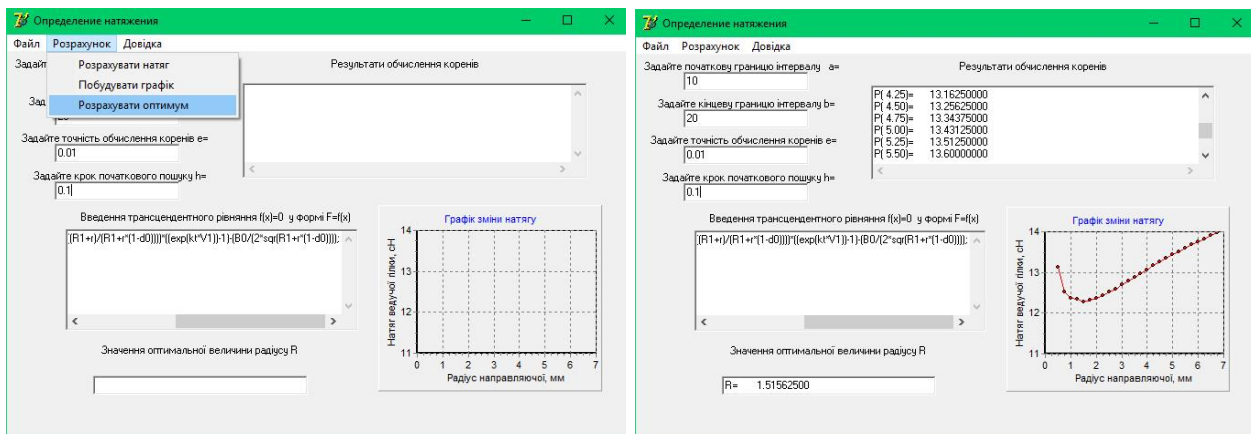


Рис.2.10. Блок-схема алгоритму ділення відрізка навпіл

Введення вхідних даних для реалізації алгоритму ділення відрізка навпіл здійснюється за допомогою наступних програмних операторів: Val(edt1NN2.Text,a,code); Val(edt2NN2.Text,b,code); Val(edt3NN2.Text,e,code); Val(edt4NN2.Text,h,code).

При введенні трансцендентного рівняння в багато строкове вікно Memo1: TМемо трансцендентного рівняння (2.18) у формі $F = f(P)$ в програмі реалізований транслятор з використанням зворотних польських записів. Це здійснюється за допомогою окремого модуля unit Synt. Цей модуль в програмі реалізований без форми.

Для контролю введення інформації у багато строкове вікно Memo1: TМемо та виправлення помилок при вводі використовується форма TF Errors = class(TForm). На рис.2.11б представлені результати роботи програми для визначення величини натягу ведучої гілки нитки в залежності від радіусу кривизни напрямної великої кривизни у формі тора.



а.

б.

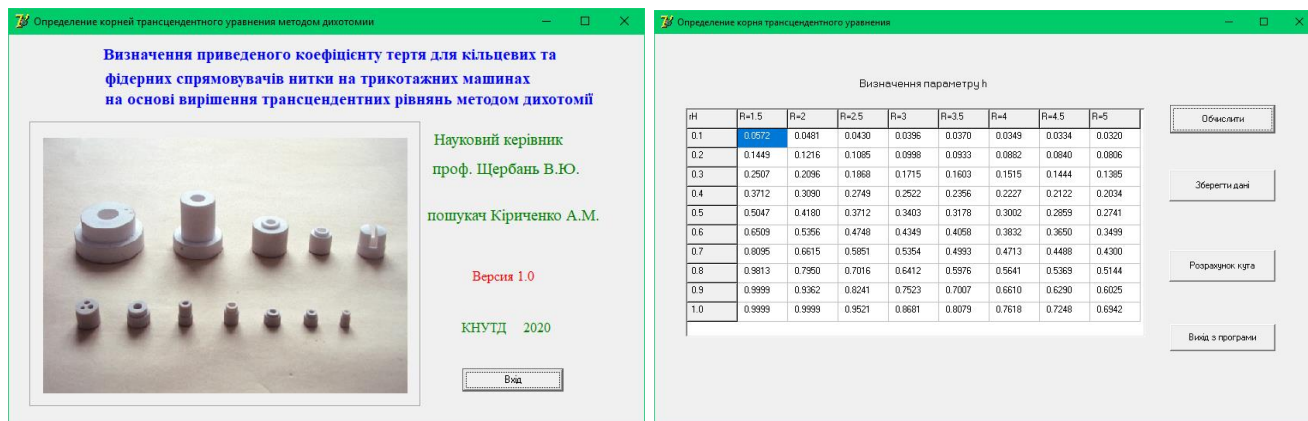
Рис.2.11. Процедура procedure Tfrm1NN2.n8NN2Click(Sender: TObject) та результати роботи програми для визначення величини натягу ведучої гілки нитки В додатку Б2 наведений лістинг програми для визначення значення натягу при взаємодії нитки з напрямною у формі тора з використанням зворотних польських записів.

2.5. Алгоритмічне та комп'ютерне програмне забезпечення для визначення приведенного коефіцієнту тертя для структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин у формі тора

Програма для визначення приведенного коефіцієнту тертя для структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин у формі тора включає п'ять форм: TfrmTUDI1 = class(TForm); TfrmTUDI2 = class(TForm); TForm1 = class(TForm); TForm2 = class(TForm); TForm3 = class(TForm). На рис.2.12а представлена перша форма TfrmTUDI1 = class(TForm) програми.

На цій формі розташовані наступні компоненти: lbl11TUDI: TLabel; lbl12TUDI: TLabel; lbl13TUDI: TLabel; lbl14TUDI: TLabel; btn11TUDI1: TButton; Label1: TLabel; Label2: TLabel; Label3: TLabel; Label5: TLabel; GroupBox1: TGroupBox; Image1: TImage.

Визначення приведенного коефіцієнту тертя включає три послідовні кроки: визначення висоти сегменту; обчислення радіального кута охоплення нитки поверхнею напрямної; визначення приведенного коефіцієнту тертя.



а.

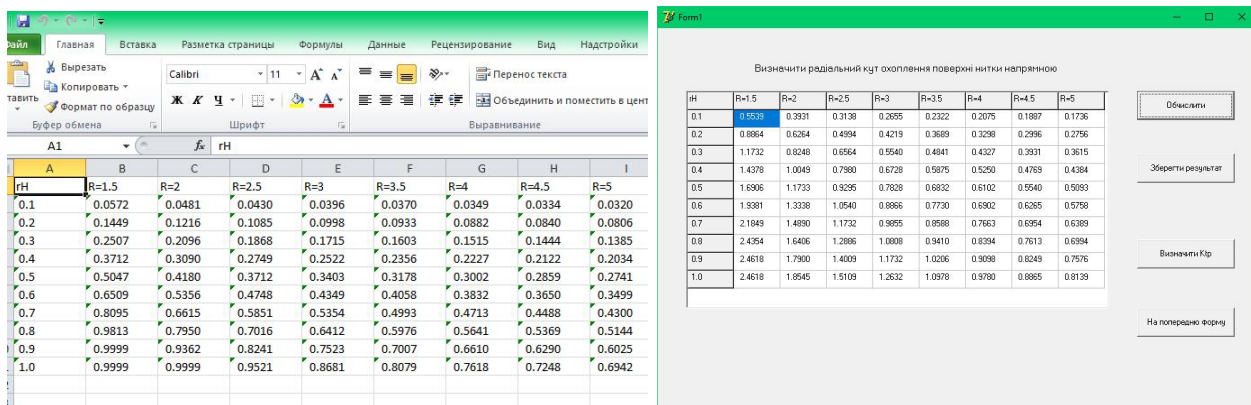
б.

Рис.2.12. Перша форма $TfrmTUDI1 = class(TForm)$ програми для визначення приведенного коефіцієнту тертя та друга форма $TfrmTUDI2 = class(TForm)$ для розрахунку висоти сегменту h

Друга форма $TfrmTUDI2 = class(TForm)$ (рис.2.12б) призначена для розрахунку висоти сегменту h . Для чого необхідно з використанням чисельним методів знайти корені трансцендентного рівняння (2.24). В якості алгоритму для визначення кореня трансцендентного рівняння (2.24) використовували метод ділення відрізка навпіл. Необхідно побудувати ітераційну послідовність для цільової функції

$$g_i = \pi r_H^2 - R^2 \arccos\left(\frac{R - x_i}{R}\right) - (R - x_i) \sqrt{2Rx_i - x_i^2} > 0.$$

На формі $TfrmTUDI2 = class(TForm)$ розташовані наступні компоненти: `btn21TUDI2: TButton`; `btn23TUDI2: TButton`; `StringGrid1: TStringGrid`; `Button1: TButton`; `Button2: TButton`; `Label1: TLabel`. За допомогою компонента `btn21TUDI2: TButton` визивається процедура `procedure btn21TUDI2Click (Sender: TObject)` для розрахунку висоти сегменту h . Активація компонента `Button1: TButton` призводить до виконання процедури `procedure Button1Click(Sender: TObject)` збереження результатів розрахунку в таблиці Microsoft Excel (рис.2.13а).



а.

б.

Рис.2.13. Результати розрахунку висоти сегменту h в таблиці Microsoft Excel та обчислення радіального кута охоплення нитки поверхнею напрямною у формі тора

Активация компонента Button2: TButton призводить до виконання процедури procedure Button2Click(Sender: TObject) переходу на форму TForm1 = class(TForm) для обчислення радіального кута охоплення нитки поверхнею напрямною у формі тора.

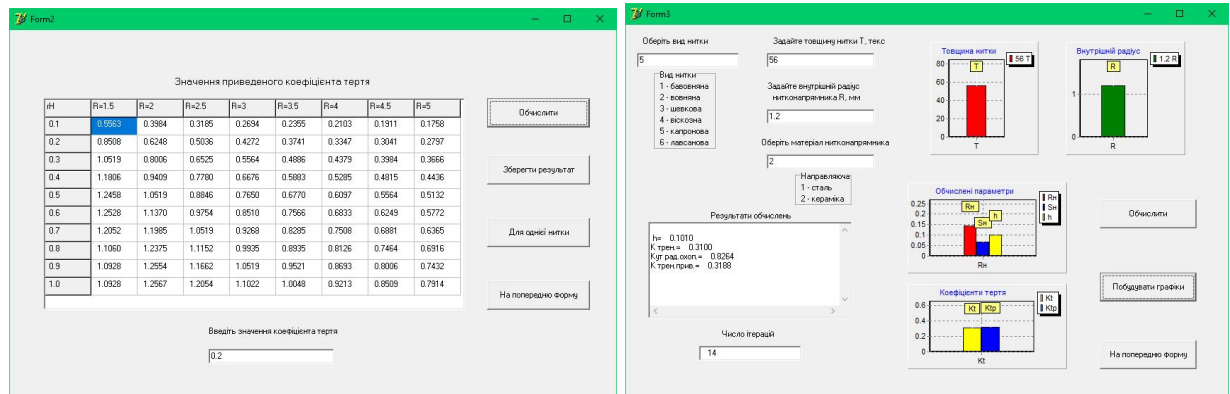
Активация компонента btn23TUDI2: TButton призводить до виконання процедури procedure btn23TUDI2Click(Sender: TObject) закінчення роботи комп'ютерної програми.

На формі TForm1 = class(TForm) (рис.2.13б) розташовані наступні компоненти: Button1: TButton; StringGrid1: TStringGrid; Button2: TButton; Button3: TButton; Button4: TButton; Label1: TLabel.

За допомогою компонента Button2: TButton визивається процедура procedure Button2Click(Sender: TObject) обчислення радіального кута охоплення нитки поверхнею напрямною у формі тора. Натиснення на кнопку Button3: TButton призводить до виконання процедури procedure Button3Click(Sender: TObject) збереження результатів розрахунку в таблиці Microsoft Excel. Активация компонента Button4: TButton призводить до виконання процедури procedure Button4Click(Sender: TObject) переходу на форму TForm2 = class(TForm) для визначення приведенного коефіцієнту тертя.

Активация компонента Button1: TButton приводит до выполнения процедуры `procedure Button1Click(Sender: TObject)` переходу до попередньої форми `TfrmTUDI2 = class(TForm)` комп'ютерної програми.

На формі `TForm2 = class(TForm)` (рис.2.14а) розташовані наступні компоненти: Button1: TButton; Button2: TButton; StringGrid1: TStringGrid; Button3: TButton; Button4: TButton; Label1: TLabel; Edit1: TEdit; Label2: TLabel.



а.

б.

Рис.2.14. Четверта форма `TForm2 = class(TForm)` для визначення приведенного коефіцієнту тертя та п'ята форма `TForm3 = class(TForm)` для визначення приведенного коефіцієнту тертя для конкретної комплексної нитки чи пряжі. За допомогою компонента Button2: TButton визивається процедура `procedure Button2Click(Sender: TObject)` визначення приведенного коефіцієнту тертя. Активация компонента Button3: TButton приводит до выполнения процедуры `procedure Button3Click(Sender: TObject)` збереження результатів розрахунку в таблиці Microsoft Excel.

Активация компонента Button4: TButton приводит до выполнения процедуры `procedure Button4Click(Sender: TObject)` переходу на форму `TForm3 = class(TForm)` для визначення приведенного коефіцієнту тертя для конкретної комплексної нитки чи пряжі.

Активация компонента Button1: TButton приводит до выполнения процедуры `procedure Button1Click(Sender: TObject)` переходу до попередньої форми `TForm1 = class(TForm)` комп'ютерної програми.

На формі TForm3 = class(TForm) (рис.2.14б) розташовані наступні компоненти: Button1: TButton; Label1: TLabel; Edit1: TEdit; Label2: TLabel; Edit2: TEdit; Label3: TLabel; Label4: TLabel; Edit3: TEdit; Label5: TLabel; Edit4: TEdit; GroupBox1: TGroupBox; Label6: TLabel; Label7: TLabel; Label8: TLabel; Label9: TLabel; Label10: TLabel; Label11: TLabel; GroupBox2: TGroupBox; Label12: TLabel; Label13: TLabel; Label14: TLabel; Label15: TLabel; Edit5: TEdit; Button2: TButton; Memo1: TMemo; Button3: TButton; Chart1: TChart; Chart2: TChart; Chart3: TChart; Chart4: TChart; Series1: TBarSeries; Series2: TBarSeries; Series3: TBarSeries; Series4: TBarSeries; Series5: TBarSeries; Series6: TBarSeries; Series7: TBarSeries.

Одно строкове вікно Edit1: TEdit призначене для обрання виду нитки чи пряжі: 1 – бавовняна; 2 – вовняна; 3 – шовкова; 4 – віскозна; 5 – капронова (поліамідна); 6 – лавсанова. Одно строкове вікно Edit2: TEdit призначене для завдання товщини нитки в текстах. Одно строкове вікно Edit3: TEdit призначене для введення значення внутрішнього радіусу напрямної у формі тора. Одно строкове вікно Edit4: TEdit призначене для обрання матеріалу напрямної: 1 – сталь; 2 – кераміка. Одно строкове вікно Edit5: TEdit призначене для виведення числа ітерацій при чисельному визначенні коренів трансцендентного рівняння (2.24).

Багато строкове вікно Memo1: TMemo призначене для виведення результатів обчислень: висоти сегменту; радіального кута охоплення нитки поверхнею напрямної; приведенного коефіцієнту тертя.

Компоненти Chart1: TChart, Chart2: TChart, Chart3: TChart, Chart4: TChart призначені для побудови графічних залежностей введених та обчислених параметрів, товщини нитки.

За допомогою компонента Button2: TButton визивається процедура procedure Button2Click(Sender: TObject) для визначення висоти сегменту, радіального кута охоплення нитки поверхнею напрямної, приведенного коефіцієнту тертя для конкретної комплексної нитки чи пряжі. Активація компонента Button3: TButton призводить до виконання процедури procedure Button3Click(Sender: TObject) побудови графічних залежностей. Активація компонента Button1: TButton

призводить до виконання процедури `procedure Button1Click(Sender: TObject)` переходу до попередньої форми `TForm2 = class(TForm)` комп'ютерної програми. В додатку Б1 наведений лістинг програми для визначення приведенного коефіцієнту тертя при реалізації алгоритму дихотомії для трансцендентних рівнянь.

Висновки по розділу 2

1. Визначені геометричні параметри осі нитки, швидкості і прискорення точок вісі в процесі взаємодії нитки з направляючою у формі тора при урахуванні деформації перетину в зоні контакту, жорсткості на згин та зміни коефіцієнту тертя при радіальному охопленні нитки поверхнею напрямної.
2. Отримана система диференційних рівнянь, що описує динаміку руху нитки жорсткої на вигин та кручення по направляючій поверхні великої кривизни у формі тора з урахуванням деформації в зоні контакту, змінного вхідного натягу та діаметру перетину при радіальному охопленні нитки поверхнею напрямної.
3. Встановлені залежності вихідного натягу комплексної нитки чи пряжі від радіусу кривини направляючої поверхні великої кривини у формі тора з урахуванням вхідного натягу, кута охоплення, виду сировини, співвідношення радіусу перетину нитки та внутрішнього радіусу спрямовувача у формі тора, жорсткості на згин, деформації в зоні контакту, нелінійної залежності коефіцієнту тертя.
4. В результаті проведеного дослідження розроблені математичні моделі для визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії нитки з кільцевими та трубчастими спрямовувачами нитки трикотажних машин з урахуванням їх реальних фізико – механічних властивостей, структури та умов переробки на технологічному обладнанні.
5. Розроблені алгоритм та комп'ютерна програма для визначення значення натягу при взаємодії нитки з напрямними у формі тора системи подачі круглов'язальних машин на основі чисельної реалізації алгоритму половинного розділення відрізка при розв'язанні трансцендентних рівнянь та розроблений транслятор з використанням зворотних польських записів.

6. Розроблений алгоритм методу половинного розділення відрізка при розв'язанні трансцендентних рівнянь та програмне забезпечення для визначення висоти сегменту заповненого матеріалом нитки, радіального кута охопту поверхні нитки напрямною поверхнею та приведенного коефіцієнту тертя.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner/V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko //Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10.- Number 2. – P. 18-23.
2. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – P. 22-26.
3. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2017.-№6(255). - С.23-27.
4. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№1 (257). - С.213-217.
5. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 2 (259). - С.12-16.
6. Кириченко А.М. Математичні компоненти САПР спрямовувачів та робочих органів технологічного устаткування легкої та текстильної промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/ загал. наук. ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2018. - С.22-26.

7. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Математичне моделювання процесу взаємодії ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 26-27 квітня 2018 року. Том 2., - К. КНУТД, с. 55-56.

8. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для розрахунку натягу ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 18-19 квітня 2019 року. Том 2, ч. 1. - К. КНУТД, с. 74-75.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ НИТКИ З ПРИСТРОЯМИ ДЛЯ НАТЯГУ ТА КОМПЕНСАТОРАМИ В'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН

Обривність ниток при переробці на круглов'язальних машин великого діаметру пов'язана з недосконалістю системи подачі нитки і її складових елементів – пристроїв для натягу нитки, напрямних елементів, компенсаторів натягу. Найбільше число обривів випадає на зону розташування пристроїв для натягу нитки [1, 3-5]. Дослідження впливу конструкції пристрою для натягу нитки на умови його взаємодії з ниткою, з урахування її реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину мають важливе значення для удосконалення технологічних процесів на круглов'язальних машинах великого діаметру з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається[1, 5]. Таким чином, питання удосконалення конструкції пристроїв для натягу круглов'язальних машин великого діаметру є актуальним, яке має важливе значення для удосконалення конструкції існуючих пристроїв для натягу та розробки нових.

Пристрої для натягу є складовою частиною системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру. Недосконалість конструкції пристроїв для натягу призводить до коливання натягу нитки в процесі її переробки на круглов'язальних машин великого діаметру та порушенню технологічного режиму. В першу чергу, на це впливає нерівномірність нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного[1]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузі технології трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Метою даного дослідження є проведення порівняльного аналізу роботи двох пристроїв для натягу (шайбового, пальцьового) круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки чи пряжі, зокрема їх нерівномірності по діаметру поперечного перетину.

3.1. Аналіз процесу взаємодії нитки з структурним елементом системи подачі ниток круглов'язальних машин у вигляді шайбового пристрою

На рис.3.1а представлена залежність поперечного перетину вовняної пряжі 29,9 текс довжиною 1 м. Аналіз показує, що апроксимувати нерівномірність поперечного перетину можна за допомогою наступного поліному [1]

$$d_n = 2r_n = \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t), \quad (3.1)$$

де a_i, b_i - амплітуди зміни i - ї гармоніки поперечного перетину;

ω_i - частота зміни поперечного перетину i - ї гармоніки ;

n - число гармонік;

t - час.

На рис.3.1 б, в представлені розрахункова схема та загальний вигляд шайбового пристрою для натягу.

Визначимо значення вихідного натягу нитки P_l з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного. При цьому будемо рахувати вхідний натяг нитки P_0 незмінним. Зростання натягу нитки відбувається за рахунок контакту (рис.3.1б) нитки з верхньою та нижньою шайбами в точках $a, б$ та контактом нитки з направляючим стрижнем по дузі de . За рахунок сил тертя в зонах контакту буде відбуватися зростання натягу.

Розглядаючи рівновагу верхньої шайби, використовуючи основні рівняння статички для просторової паралельної системи сил, визначимо значення

нормального тиску в точці a , який буде дорівнювати нормальному тиску в точці b

$$Ok = R \sin(\beta - \alpha), \quad \sin \beta = \frac{r}{R}, \quad p_a = p_b = \frac{0,5NR}{Ok + R}, \quad N = c(\lambda + d_n), \quad (3.2)$$

де R - радіус кола контакту між верхньою та нижньою шайбами;

α - половина кута охоплення ниткою циліндричного направляючого стрижня;

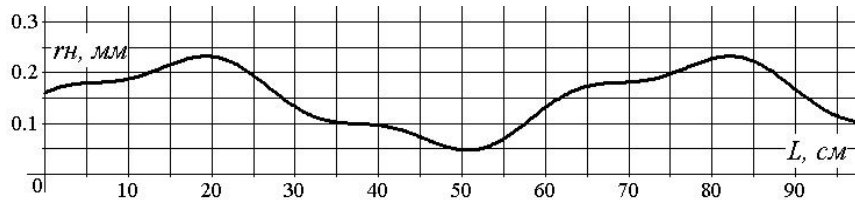
r - радіус циліндричного направляючого стрижня;

p_a, p_b - нормальний тиск в точках a, b ;

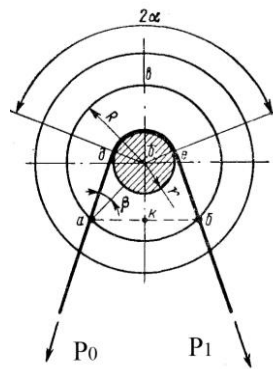
N - сила нормального тиску пружини на верхню шайбу;

c - коефіцієнт жорсткості пружини;

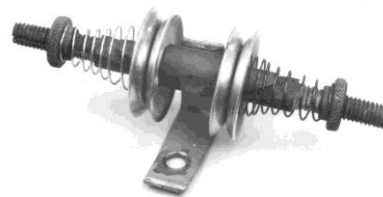
λ - необхідна деформація пружини для забезпечення відповідної сили тертя.



а.



б.



в.

Рис.3.1. Графічна залежність зміни поперечного перетину нитки та схема шайбового пристрою для натягу круглов'язальних машин великого діаметру. Необхідно зазначити, що у виразі (3.2) необхідно враховувати деформацію поперечного перетину нитки в точках a, b з урахуванням ширини площини контакту, модуля пружності нитки на зминання [1, 3-5]. Але в умовах нашої задачі цим можна знехтувати і використовувати безпосередньо величину

поперечного перетину r_n . З урахуванням (3.2) остаточно отримаємо формулу для визначення вихідного натягу нитки P_1

$$P_1 = P_0 \left[1 - \frac{r+r_n}{r} (1 - e^{2\mu_2\alpha}) \right] + \frac{\mu_1 c (\lambda + d_n) \left[2 - \frac{r+r_n}{r} (1 - e^{2\mu_2\alpha}) \right]}{1 + \sin(\alpha - \beta)}. \quad (3.3)$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя між поверхнями верхньої та нижньої шайб та ниткою;
 μ_2 - коефіцієнт тертя між поверхнею циліндричного напрямного стрижня та ниткою.

Для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, з використанням (3.1) та (3.3), був визначений вихідний натяг нитки P_1 . По результатам розрахунків були побудовані графічні залежності, які представлені на рис.3.2. Аналіз показав, що найбільша нерівномірність натягу спостерігається для бавовняної та вовняної пряжі. Це пояснюється специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного.

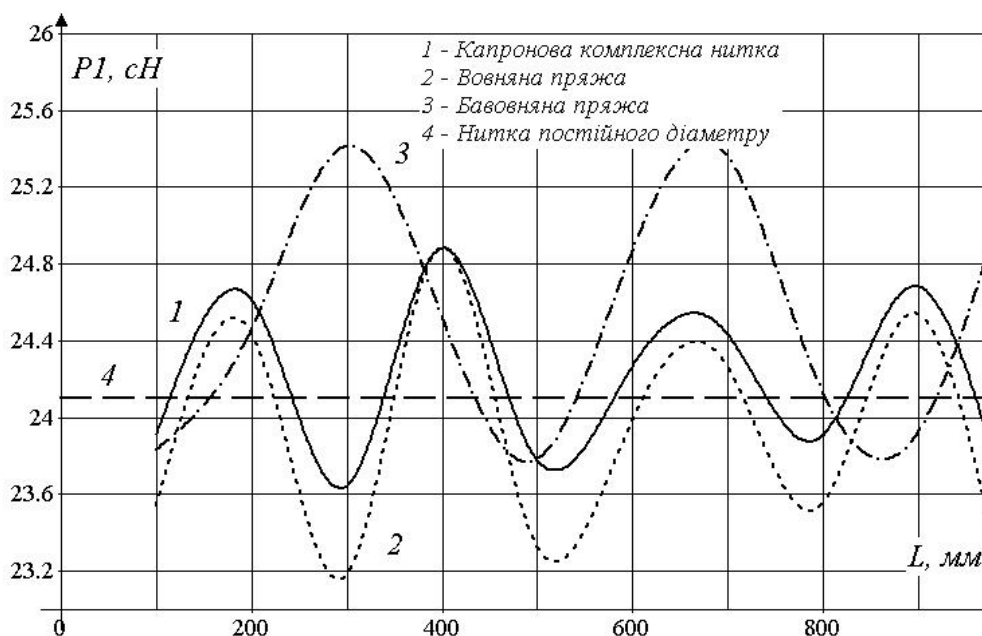


Рис.3.2. Залежності зміни натягу шайбового пристрою для натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру

Для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичної моделі шайбового пристрою для натягу нитки в роботі була реалізована серія експериментальних досліджень, з використанням розробленої електричної тензOMETричної установки, для визначення вихідного натягу нитки після шайбового натягувача нитки. На рис.3.3 представлені зразки осцилограм: 3.3а – для вовняної пряжі 29,9 текс; 3.3б – для бавовняної пряжі 27,6 текс; 3.3в – для поліамідної комплексної нитки 28 текс. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 3.1.

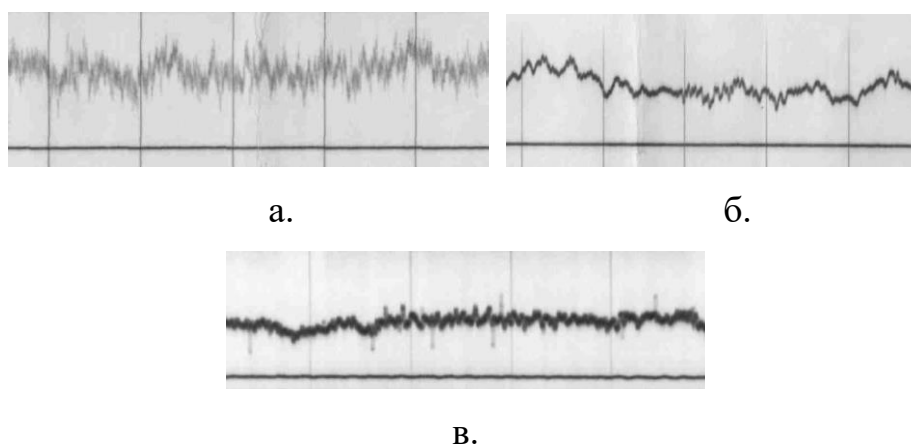


Рис.3.3. Зразки осцилограм

Аналіз даних таблиці 3.1 показує, що в шайбовому пристрої для натягу нитки присутні ділянки, де відбувається контакт нитки з напрямними великої кривизни. При цьому виникає додаткове зростання натягу завдяки зминанню в зоні контакту з напрямною поверхнею. Це явище ще більше посилюється завдяки нерівномірності нитки за діаметром. На ділянках, де присутні шишки, потовщення зростання натягу буде мати стрибкоподібний характер.

Проведений аналіз роботи шайбового пристрою для натягу круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину при умові постійного значення вхідного натягу. Результати теоретичних досліджень порівнювалися з експериментальними даними, отриманими з використанням спеціальної електричної тензOMETричної установки, для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичної моделі шайбового

пристрою для натягу. Порівняльний аналіз показав, що похибка знаходиться в межах 3-9%.

Таблиця 3.1

Результати експериментального визначення натягу нитки після шайбового пристрою для натягу нитки

Тип	Вид нитки	Натяг нитки P_l , сН										Нерівномірність натягу, %
		Відстань на ділянці нитки L , мм										
		100	199	298	397	496	595	694	793	892	991	
Шайбовий	Поліамідна	23.91	24.61	23.64	24.87	23.80	24.23	24.46	23.88	24.68	23.58	5,4
	Бавовняна	23.83	24.44	25.41	24.56	23.77	24.80	25.39	24.20	23.87	25.15	6,8
	Вовняна	23.53	24.44	23.16	24.87	23.36	23.92	24.30	23.52	24.54	23.06	7,5

Отримані результати дозволили встановити, що для шайбового пристрою для натягу нерівномірність натягу склала: для вовняної пряжі - 7,5%; для бавовняної пряжі - 6,8% ; для поліамідної комплексної нитки – 5,4%. Була встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з шайбовим пристроєм для натягу. Найбільше значення натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для поліамідної комплексної нитки. Це пояснюється специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного.

3.2. Аналіз процесу взаємодії нитки з структурним елементом системи подачі ниток круглов'язальних машин у вигляді пальцевого пристрою

На рис.3.4 представлені загальний вигляд та розрахункова схема пальцевого пристрою для натягу нитки. Нитка послідовно проходить скрізь отвір у правому диску, огинає поверхню направляючого циліндру (пальця) та виходить скрізь отвір у лівому диску.

Формула для визначення вихідного натягу нитки P_1 буде мати вигляд

$$P_1 = P_o \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{\mu_3 \gamma_1}) \right] e^{2\pi k \mu_4 \sin \phi} \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{\mu_3 \gamma_2}) \right], \quad (3.4)$$

де μ_3, μ_4 - коефіцієнти тертя відповідно між ниткою та поверхнею отворів та направляючого циліндру пальцевого пристрою для натягу нитки;

γ_1, γ_2 - кути огинання ниткою направляючих поверхонь отворів на вході та виході з пальцевого пристрою для натягу нитки;

k - кількість повних обертів нитки навколо направляючого циліндру пальцевого пристрою для натягу нитки;

ϕ - кут нахилу вісі нитки до утворюючій направляючого циліндру пальцевого пристрою для натягу нитки.

По результатам розрахунків за формулою (3.4), для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, були побудовані графічні залежності, які представлені на рис.3.5. Аналіз показав, що найбільша нерівномірність натягу, як і для шайбового пристрою для натягу нитки, спостерігається для бавовняної та вовняної пряжі.

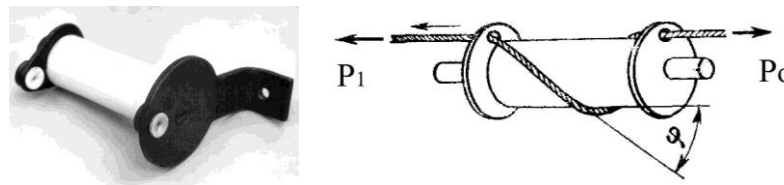


Рис.3.4. Загальний вигляд та розрахункова схема пальцевого пристрою для натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру

Для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичної моделі пальцевого пристрою для натягу нитки в роботі була реалізована серія експериментальних досліджень, з використанням розробленої електричної тензометричної установки для визначення вихідного натягу нитки після пальцевого пристрою для натягу нитки. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 3.2.



Рис.3.5. Залежності зміни натягу пальцевого пристрою для натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру

Аналіз даних таблиці 3.2 показує, що в пальцевого пристрою для натягу нитки присутні ділянки, де відбувається контакт нитки з напрямними великої кривизни. Це отвори у правому та лівому диску. При цьому виникає додаткове зростання натягу завдяки зминанню в зоні контакту з напрямними у правому та лівому диску. Це явище ще більше посилюється завдяки нерівномірності нитки за діаметром. На ділянках, де присутні шишки, потовщення зростання натягу буде мати стрибкоподібний характер за рахунок контакту з напрямними у правому та лівому диску.

Проведений аналіз роботи пальцевого пристрою для натягу круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину

при умові постійного значення вхідного натягу. Результати теоретичних досліджень порівнювалися з експериментальними даними, отриманими з використанням спеціальної електричної тензометричної установки, для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичної моделі пальцевого пристрою для натягу. Порівняльний аналіз показав, що похибка знаходиться в межах 2-8%.

Отримані результати дозволили встановити, що для пальцевого пристрою для натягу нитки нерівномірність натягу склала: для вовняної пряжі - 7,8%; для бавовняної пряжі - 6,5% ; для поліамідної комплексної нитки – 5,2%. Була встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з пальцевим пристроєм для натягу нитки. Найбільше значення натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для поліамідної комплексної нитки при взаємодії з пальцевим пристроєм для натягу.

Таблиця 3.2

Результати експериментального визначення натягу нитки після пальцевого пристрою для натягу нитки

Тип	Вид нитки	Натяг нитки P_l , сН										Нерівномірність натягу, %
		Відстань на ділянці нитки L , мм										
		100	199	298	397	496	595	694	793	892	991	
Пальцевий пристрій для натягу нитки	Поліамідна	23.73	24.40	23.47	24.65	23.62	24.03	24.26	23.70	24.46	23.41	5,2
	Бавовняна	23.55	24.14	25.06	24.25	23.49	24.48	25.05	23.91	23.58	24.81	6,5

	Вовняна	23.79	24.73	23.41	25.18	23.61	24.19	24.59	23.77	24.83	23.31	7,8
--	---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----

3.3. Математичне моделювання процесу взаємодії нитки з шайбовим компенсатором

Недосконалість конструкції компенсаторів натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру не дозволяє здійснювати стабілізацію натягу в процесі роботи текстильної машини [2, 6, 7]. Коливання вихідного натягу пояснюється недоліками конструкції компенсаторів круглов'язальних машин великого діаметру, коливаннями вхідного натягу, нерівномірністю по діаметру поперечного перетину нитки. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності круглов'язальних машин великого діаметру та якості продукції що випускається [6, 7]. Дане дослідження є актуальним, яке має важливе значення для удосконалення конструкції існуючих компенсаторів натягу круглов'язальних машин великого діаметру та розробки нових.

Компенсатори натягу є складовою частиною системи подачі нитки технологічного устаткування трикотажної промисловості. Недосконалість конструкції компенсаторів натягу не дозволяє здійснювати його стабілізацію в процесі роботи технологічного устаткування і призводить до порушення технологічного режиму [2]. В першу чергу, на це впливає нерівномірність нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного, а також нерівномірність вхідного натягу. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних

дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Удосконалення конструкції компенсаторів натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру дозволяє стабілізувати їх натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається [2, 7].

Метою цієї роботи було оцінити ефективність роботи компенсаторів натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину при умові змінного значення вхідного натягу.

Урахування реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину d_n та умови змінного значення вхідного натягу P_o можна представити наступними поліномами [2]

$$d_n = 2r_n = \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t), P_o = \sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_{1i} t + d_i \cos \omega_{1i} t), \quad (3.5)$$

де a_i, b_i - амплітуди зміни i - ї гармоніки поперечного перетину;

ω_i - частота зміни поперечного перетину i - ї гармоніки ;

n - число гармонік для поперечного перетину;

c_i, d_i - амплітуди зміни i - ї гармоніки вхідного натягу;

ω_{1i} - частота зміни вхідного натягу i_1 - ї гармоніки ;

n_1 - число гармонік для вхідного натягу;

t - час.

На рис.3.6 представлений загальний вигляд шайбового компенсатору натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру. Нитка проходить між двома шайбами, огинає рухомий фігурний важіль, знову проходить між двома шайбами та поступає в зону в'язання на круглов'язальній машині великого діаметру.

Важіль має можливість здійснювати обертальний рух навколо вісі. Друге плече важеля фіксується за допомогою двох пружин стискання. Необхідний тиск в зоні контакту нитки з шайбами забезпечується деформацією пружин стискання. Визначимо значення вихідного натягу нитки P_1 на круглов'язальній машині великого діаметру з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного при умові змінного значення вхідного натягу. Зростання натягу нитки відбувається за рахунок контакту (рис.3.6) нитки з верхньою та нижньою шайбами в точках 1-4 та контактом нитки з направляючим стрижнем по дузі.

Сили стискання пружин можна визначити з наступних рівнянь

$$N_1 = c_1(\lambda_1 + d_n), \quad N_2 = c_2(\lambda_2 + d_n), \quad p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = \frac{N_1}{4} = \frac{c_1(\lambda_1 + d_n)}{4}, \quad (3.6)$$

де N_1, N_2 - сили стискання першої та другої пружин;

c_1, c_2 - коефіцієнти жорсткості першої та другої пружин;

λ_1, λ_2 - початкова деформація першої та другої пружин;

d_n - поточне значення діаметру нитки;

p_1, p_2, p_3, p_4 - сила нормального тиску в точках.

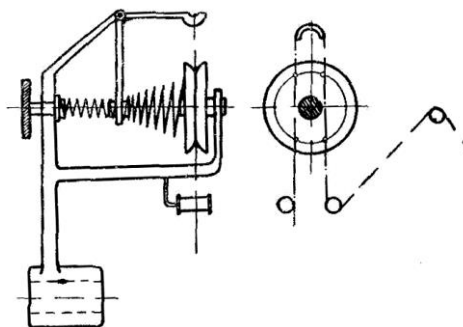


Рис.3.6. Шайбовий компенсатор натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру

Необхідно зазначити, що у виразі (3.6) необхідно враховувати деформацію поперечного перетину нитки в точках 1-4 з урахуванням ширини площини контакту, модуля пружності нитки на зминання [2]. Але в умовах нашої задачі

цим можна знехтувати і використовувати безпосередньо величину поперечного перетину d_H .

Після проходження точки 4 натяг нитки на виході з шайбового компенсатора натягу буде визначатися за формулою

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= \sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_i t + d_i \cos \omega_i t) + \mu_1 (c_1 (\lambda_1 + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t))) / 2, \\
 P_1 &= [\sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_i t + d_i \cos \omega_i t) + \mu_1 (c_1 (\lambda_1 + \\
 &\quad + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t))) / 2] \times \\
 &\times [1 - (r + 0,5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r) (1 - e^{\mu_2 \alpha})] + \\
 &\quad + \mu_1 c_1 (\lambda_1 + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)) / 2,
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

де - μ_1 - коефіцієнт тертя між поверхнями верхньої та нижньої шайб та ниткою;
 μ_2 - коефіцієнт тертя між поверхнею циліндричної направляючої рухомого фігурного важеля та ниткою;

α - кут охоплення циліндричної направляючої рухомого фігурного важеля;

r - радіус циліндричної направляючої рухомого фігурного важеля.

В процесі руху нитки скрізь шайбовий компенсатор натягу, з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру та змінного значення вхідного натягу, рухомий фігурний важіль буде обертатися навколо нерухомої вісі деформуючі дві пружини стискання. Для визначення поточного натягу нитки на виході з компенсатора необхідно визначити цей куб оберту.

Диференційне рівняння обертання рухомого фігурного важеля буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
I \frac{d^2\gamma}{dt^2} = & \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_{i1} t + d_i \cos \omega_{i1} t) + \mu_1 (c_1 (\lambda_1 + r_2 \gamma + \right. \right. \\
& \left. \left. + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)) / 2) \right] \times \right. \\
& \times [2 - (r + 0,5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r) (1 - e^{\mu_2 \alpha})] \left. \right\} r_1 + \\
& + c_1 [\lambda_1 + r_2 \gamma + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)] r_2 - \\
& - c_2 [\lambda_2 - r_2 \gamma + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)] r_2
\end{aligned} \tag{3.8}$$

де r_2 - довжина вертикальної штанги рухомого фігурного важеля;

γ - кут обертання рухомого фігурного важеля;

I - момент інерції рухомого фігурного важеля;

r_1 - довжина горизонтальної штанги рухомого фігурного важеля.

Диференційне рівняння (3.8) складно інтегрувати в елементарних функціях, тому в роботі використовувалися чисельний метод Рунге – Кута -Мерсона з автоматичним обранням шагу інтегрування, для чого була розроблена спеціальна програма для ЕОМ з використанням мови Object Pascal в середовищі Delphi. Отримані дискретні значення кута обертання рухомого фігурного важеля як функції часу апроксимувалися ступеневим поліномом. Для чого в роботі була розроблена друга програма для ЕОМ з використанням мови Object Pascal в середовищі Delphi.

Тоді, з урахуванням (3.7)-(3.8), вираз для визначення натягу нитки після компенсатора натягу буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
P_1 = & \left[\sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_{i1} t + d_i \cos \omega_{i1} t) + \mu_1 (c_1 (\lambda_1 + r_2 (\gamma_o + \sum_{i=1}^n \gamma_i t^i) + \right. \\
& \left. + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)) / 2) \right] \times \\
& \times [1 - (r + 0,5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r) (1 - e^{\mu_2 \alpha})] + \\
& + \mu_1 c_1 (\lambda_1 + r_2 (\gamma_o + \sum_{i=1}^n \gamma_i t^i) + \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)) / 2
\end{aligned} \tag{3.9}$$

де $\gamma_0, \dots, \gamma_n$ - коефіцієнти ступеневого поліному.

По результатам розрахунків за формулами (3.7)-(3.9), для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, були отримані значення нерівномірності натягу шайбового компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру, які представлені в таблиці 3.3 в залежності від швидкості руху нитки. Аналіз даних таблиці 3.3 показує, що найбільшу нерівномірність натягу має шайбовий компенсатор круглов'язальних машин великого діаметру 71.21-88.12%. Це пояснюється тим, що в конструкції шайбового компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру присутні рухомі інерційні елементи, які при збільшенні швидкості руху нитки не встигають реагувати на зміни натягу.

В даному дослідженні встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з шайбовим компенсатором круглов'язальних машин великого діаметру. Найбільшу нерівномірність натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для поліамідної комплексної нитки.

Таблиця 3.3

Результати експериментального визначення натягу шайбового компенсатора для натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру

Тип компенсатору	Вид нитки	Нерівномірність натягу нитки ($P_{max} - P_{min}$)/ $P_{сер}$, %					
		Швидкість руху нитки, см/с					
		20	40	60	80	100	120
Шайбовий компенсатор	Поліамідна	62.14	63.11	65.28	68.73	69.35	71.21
	Бавовняна	71.14	74.62	76.34	78.45	80.50	82.43

	Вовняна	79.10	82.32	84.24	86.44	87.20	88.12
--	---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

3.4. Математичне моделювання процесу взаємодії нитки з пальцевим компенсатором

На рис.3.7 представлений загальний вигляд пальцевого компенсатора натягу. Нитка послідовно проходить скрізь отвір у правому диску, огинає поверхню направляючого циліндру(пальця) та виходить скрізь отвір у лівому диску та огинає важіль з пружиною, який має можливість обертатися навколо вісі направляючого циліндру.

Формула для визначення вихідного натягу нитки P_1 після пальцевого компенсатора натягу визначаємо з рівняння

$$\begin{aligned}
 P_1 = & \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_i t + d_i \cos \omega_i t) \right] \left[1 - \right. \right. \\
 & - (r_3 + 0,5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r_3) \times \\
 & \left. \left. \times (1 - e^{\mu_3 \beta_1}) \right] e^{2\pi k \mu_4 \sin \varphi} \left[1 - (r_3 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + 0,5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r_3) (1 - e^{\mu_3 \beta_2}) \right] \right\} \times \\
 & \times \left[1 - (r_4 + 0,5 \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r_4) (1 - \right. \\
 & \left. - \exp(\mu_5 \arcsin(c_3 (\lambda_3 + r_5 (\gamma_{10} + \sum_{i=1}^n \gamma_{1i} t^i)) / P_{11}))) \right],
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

де μ_3, μ_4 - коефіцієнти тертя відповідно між ниткою та поверхнею отворів та направляючого циліндру пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

β_1, β_2 - кути огинання ниткою направляючих поверхонь отворів на вході та виході з пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

k - кількість повних обертів нитки навколо направляючого циліндру пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

ϕ - кут нахилу вісі нитки до утворюючій направляючого циліндру пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

r_3 - радіус кривизни поверхні отвору у бокових дисках пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

μ_5 - коефіцієнт тертя між ниткою та напрямним отвором важеля з пружиною;

β_3 - кут охоплення ниткою поверхні отвору важеля з пружиною пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

r_4 - радіус кривизни поверхні отвору важеля з пружиною пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

λ_3 - статична деформація пружини пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

c_3 - коефіцієнт жорсткості пружини;

r_5 - довжина важеля пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

γ_1 - кут повороту важеля відносно вісі направляючого циліндра пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру;

$\gamma_{10}, \dots, \gamma_{1n}$ - коефіцієнти ступеневого поліному.

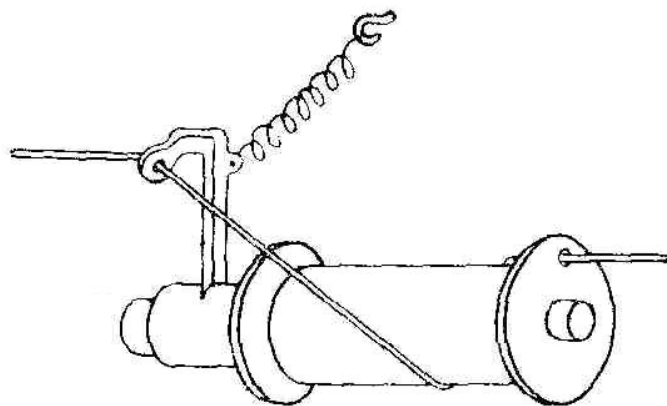


Рис.3.7. Пальцевий компенсатор натягу нитки
круглов'язальних машин великого діаметру

По результатам розрахунків за формулою (3.10), для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, були

отримані значення нерівномірності натягу пальцевого компенсатора натягу, які представлені в таблиці 3.4 в залежності від швидкості руху нитки. Аналіз даних таблиці 3.4 показує, що пальцевий компенсатор має нерівномірність натягу в межах 68.53-83.20%.

Це пояснюється тим, що в конструкції пальцевого компенсатора круглов'язальних машин великого діаметру присутні рухомі інерційні елементи, які при збільшенні швидкості руху нитки не встигають реагувати на зміни натягу.

В даному дослідженні встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з пальцевим компенсатором круглов'язальних машин великого діаметру. Найбільшу нерівномірність натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для поліамідної комплексної нитки.

Таблиця 3.4

Результати експериментального визначення натягу для різних типів пристроїв для натягу нитки

Тип компенсатору	Вид нитки	Нерівномірність натягу нитки ($P_{max} - P_{min}$)/ $P_{сер}$, %					
		Швидкість руху нитки, см/с					
		20	40	60	80	100	120
Пальцевий компенсатор	Поліамідна	60.41	62.11	63.93	65.35	66.82	68.53
	Бавовняна	65.90	67.31	69.30	72.12	72.70	74.33
	Вовняна	75.31	76.82	77.55	79.12	80.41	83.20

3.5. Оцінка ефективності роботи компенсатора натягу з кільцями

Стабілізація натягу ниток при переробці на технологічному устаткуванні грає велику роль при підвищенні його продуктивності і поліпшенні якості продукції, що випускається. Це пояснюється тим, що нерівномірність ниток по структурі (наявність шишок, потовщень та ін.), змінний вхідний натяг (що визначається умовами сходу нитки з бобіни) приводять до різкого зростання вихідного натягу і, як наслідок, до обриву нитки. Введення в схему заправки компенсатора натягу з кільцями повинно забезпечити стабілізацію натягу нитки після натягувача нитки. Проте конструкція існуючих пристроїв не дозволяє цього зробити.

Визначимо передавальну функцію компенсатора натягу нитки з кільцями на основі дослідження процесу взаємодії нитки з рухомою направляючою поверхнею постійної кривизни.

Існуючи основні системи диференціальних рівнянь для визначення натягу ведучої гілки нитки з урахуванням її реальних фізико - механічних властивостей. Проте, при цьому вважається, що поверхня напрямної нерухома і кут обхвату ниткою напрямної постійний. У роботі отримані залежності натягу нитки після рухомого елемента компенсатора натягу нитки з кільцями. Проте, вхідний натяг нитки зберігає постійне значення, що заперечує реальним умовам виробництва. Таким чином, відсутні дослідження за визначенням натягу нитки за умови її взаємодії з рухомою направляючою при змінному вхідному натягу.

На рис.3.8 а, б представлені загальний вигляд та розрахункова схема компенсатора натягу нитки з кільцями. Компенсатор натягу нитки з кільцями схематично можна представити як одиничну модель маси m [2, 7]. Рухома частина включає масу кілець. При розрахунках вважатимемо, що компенсатор натягу нитки з кільцями розташований у вертикальній площині. На рухому частину діятимуть сила тертя $P_0 \cos \alpha (e^{2\mu_1 \alpha} - 1)$ між кільцями і ниткою, нормальна реакція N і сила тертя $\mu_2 P_0 \cos \alpha (e^{2\mu_1 \alpha} - 1)$ між кільцями і вертикальною направляючою, сила опору повітря при русі кілець в вертикальних направляючих R_C , сила тяжіння рухомої частини mg .

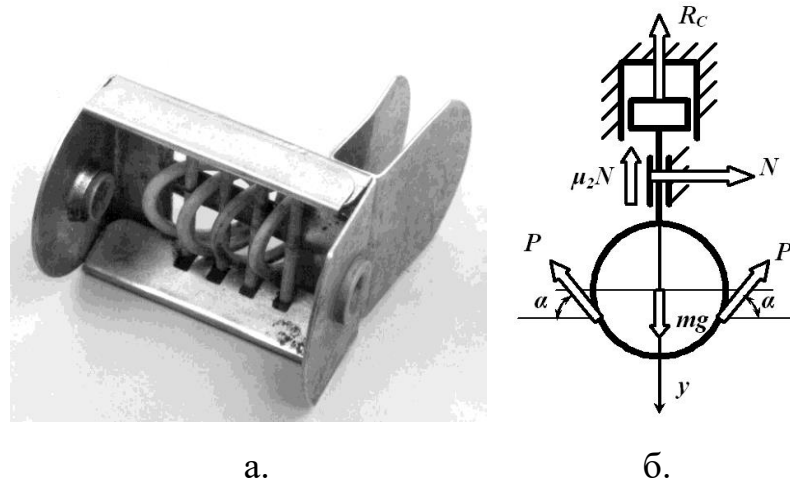


Рис.3.8. Загальний вигляд та розрахункова схема компенсатора натягу нитки з кільцями

Тоді, диференціальне рівняння руху рухомої частини відносно вертикальної осі у матиме вигляд [2]

$$m \frac{d^2 y}{dt} = mg - c \frac{dy}{dt} - P_0 \sin \alpha (e^{2\mu_1 \alpha} + 1) - \mu_2 P_0 \cos \alpha (e^{2\mu_1 \alpha} - 1), \quad (3.11)$$

де y - вертикальна ордината;

c - коефіцієнт, що враховує вплив форми поперечного перетину кілець на силу опору;

μ_2 - коефіцієнт тертя між кільцями і вертикальною направляючою компенсатора натягу нитки;

P_0 - вхідний натяг нитки;

μ_1 - коефіцієнт тертя між ниткою і що циліндричною направляючою;

2α - кут обхвату ниткою циліндричної направляючої;

t - час.

Вхідний натяг нитки (см.рис.3.9 а), в загальному випадку визначається по формулі [6, 7].

$$P_0 = \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t), \quad (3.12)$$

де a_i, b_i - амплітуди зміни i -й гармоніки вхідного натягу;

ω_i - частота зміни натягу i -й гармоніки;

n - число гармонік.

Для інтегрування диференціального рівняння (3.11) необхідно визначити залежність зміни кута обхвату α як функцію вертикального переміщення y . Використовуючи метод введення додаткового кута (см.рис.3.9 б) отримаємо систему рівнянь для визначення шуканої залежності

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{R}{\sqrt{V^2 + (R-y)^2}}\right) - \arcsin\left(\frac{R-y}{\sqrt{V^2 + (R-y)^2}}\right),$$

$$\sin \alpha = \frac{RV - (R-y)\sqrt{V^2 + (R-y)^2} - R^2}{V^2 + (R-y)^2}, \quad (3.13)$$

$$\cos \alpha = \frac{V\sqrt{V^2 + (R-y)^2} - R^2 + R(R-y)}{V^2 + (R-y)^2}$$

де R - радіус циліндричної направляючої;

V - відстань між віссю циліндричної направляючої і отвором водія нитки.

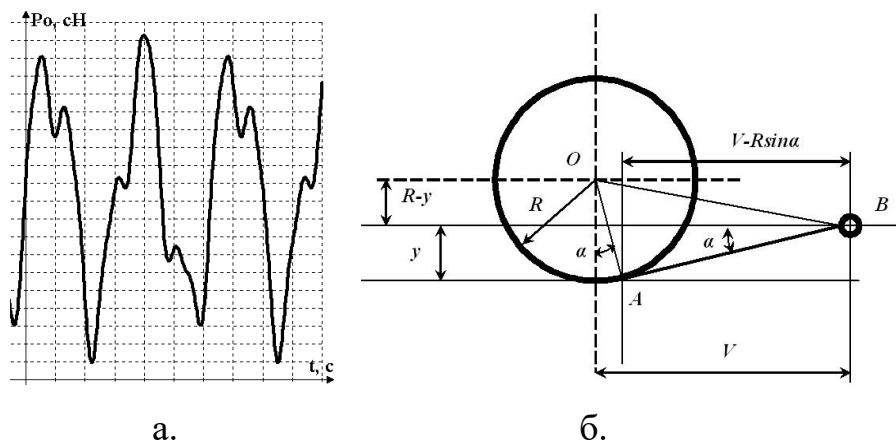


Рис.3.9. Закон зміни вхідного натягу та схема реалізації методу введення додаткового кута для компенсатор натягу нитки з кільцями

На рис.3.10а представлені графічні залежності зміни кута обхвату. Крива 1 відповідає випадку, коли $R/V = 0.5$; крива 2 відповідає випадку, коли $R/V = 0.7$; крива 3 відповідає випадку, коли $R/V = 0.9$. Аналіз даних залежностей показав, що для стабілізації натягу необхідне, щоб $V \gg R$. В цьому випадку при зміні ординати y зміна кута обхвату відбуватиметься не так інтенсивно [2, 6-7].

Перетворимо диференціальне рівняння (3.11), з урахуванням (3.12) - (3.13), до вигляду

$$\begin{aligned}
& \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{c}{m} \frac{dy}{dt} + \\
& + \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)}{m} \left[\frac{RV - (R-y)\sqrt{V^2 + (R-y)^2 - R^2}}{V^2 + (R-y)^2} \right] \times \\
& \times \left\{ e^{Z(y)} [1 + \mu_2 Z1(y)] + 1 - \mu_2 Z1(y) \right\} = g, \tag{3.14} \\
Z(y) &= 2\mu_1 \left[\arcsin \left(\frac{R}{\sqrt{V^2 + (R-y)^2}} \right) - \arcsin \left(\frac{R-y}{\sqrt{V^2 + (R-y)^2}} \right) \right], \\
Z1(y) &= \frac{V\sqrt{V^2 + (R-y)^2 - R^2} + R(R-y)}{RV - (R-y)\sqrt{V^2 + (R-y)^2 - R^2}}
\end{aligned}$$

Диференціальне рівняння (3.14) є нелінійним диференціальним рівнянням другого ступеня з постійною правою частиною. Його інтегрування в елементарних функціях не представляється можливим. Тому в роботі використовувалися чисельні методи, які дозволяють реалізувати алгоритм Рунге – Кута -Мерсона з автоматичним вибором кроку інтегрування. Для його реалізації було розроблено спеціальне програмне забезпечення на мові Object Pascal в середовищі Delphi. Набуті дискретні значення функції $y = y(t)$ апроксимувалися ступеневим поліномом. Максимальне значення ступеня полінома $n1$ визначалося точністю отримання результату. В результаті була отримана наступна залежність

$$y = a_0 + \sum_{j=1}^{n1} a_j t^j, \tag{3.15}$$

де a_0, a_j - коефіцієнти полінома апроксимації.

З урахуванням (3.5.1) і (3.5.5) значення передавальної функції P матиме вигляд

$$\begin{aligned}
P &= \frac{\Delta P}{\Delta P_0} = \\
&= \frac{P_{i_{\max}} - P_{i_{\min}}}{a_{i_{\max}} \sin \omega_i t + b_{i_{\max}} \cos \omega_i t - a_{i_{\min}} \sin \omega_i t - b_{i_{\min}} \cos \omega_i t} = \\
&= f[m, c, \mu_1, \mu_2, V, R, y(t) = a_0 + \\
&+ \sum_{j=1}^{n=1} a_j t^j, \alpha(y), \sum_{i=1}^n (a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)] \tag{3.16}
\end{aligned}$$

На рис.3.10б представлені графічні залежності зміни передавальній функції (крива 1- при $\mu_I = 0.2$, крива 2- при $\mu_I = 0.4$). Як видно, при однаковому діапазоні колювання натягу на вході і виході передавальна функція дорівнює 1.

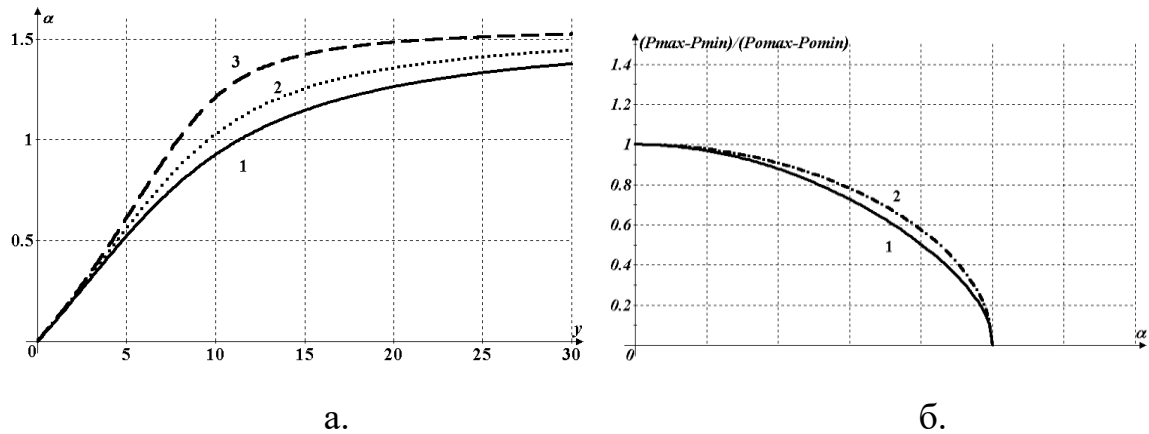


Рис.3.10. Графічні залежності зміни кута обхвату та передавальній функції для компенсатор натягу нитки з кільцями

При значенні $P = 0$ натягувач нитки працює в ідеальних умовах. Таким чином, необхідно підбирати такі конструктивні параметри компенсатор натягу нитки з кільцями, при яких передавальна функція прагнутиме до 0.

Визначення передавальної функції компенсатор натягу нитки з кільцями дозволило оптимізувати його конструктивні параметри з позиції стабілізації натягу.

Висновки по розділу 3

1. На основі проведеного аналізу роботи структурного елемента системи подачі ниток круглов'язальних машин у вигляді шайбового пристрою для натягу отримані залежності для визначення вихідного натягу з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру, що дозволило встановити шляхи його модернізації для забезпечення стабілізації натягу.
2. Для структурного елемента системи подачі ниток круглов'язальних машин великого діаметру у вигляді пальцевого пристрою для натягу отримані залежності для визначення вихідного натягу з урахуванням нерівномірності по

діаметру та реальних фізико – механічних властивостей нитки, що дозволило встановити шляхи його модернізації для забезпечення стабілізації натягу.

3. На основі динамічного аналізу роботи шайбового компенсатору натягу нитки круглов'язальних машин великого діаметру, з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, її нерівномірності по діаметру поперечного перетину та умови змінного значення вхідного натягу, отримане рівняння для визначення натягу. При цьому, в роботі використовувався чисельний метод Рунге – Кута -Мерсона з автоматичним обранням шагу інтегрування для розв'язання системи диференційних рівнянь, для чого була розроблена спеціальна програма для ЕОМ з використанням мови Object Pascal в середовищі Delphi. Отримані дискретні значення кута обертання рухомого фігурного важеля як функції часу апроксимувалися ступеневим поліномом, що дозволило встановити нерівномірність натягу після шайбового компенсатору натягу круглов'язальних машин великого діаметру.

4. Для структурного елемента системи подачі ниток круглов'язальних машин великого діаметру у вигляді пальцевого компенсатора, на основі методів кінетостатики, з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, її нерівномірності по діаметру поперечного перетину та умови змінного значення вхідного натягу, отримане рівняння для визначення натягу, що дозволило встановити нерівномірність натягу після пальцевого компенсатора натягу круглов'язальних машин великого діаметру.

5. Для компенсатора натягу з кільцями, на основі динамічного аналізу його роботи з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, її нерівномірності по діаметру поперечного перетину та умови змінного значення вхідного натягу, отримане рівняння функції передачі, що дозволило оптимізувати його конструктивні параметри з позиції стабілізації натягу.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин/ В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2016.-№6(243). - с.18-21.
2. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько //Вісник ХНУ.- 2017.-№1(245). - с.83-86.
3. Кириченко А.М. Удосконалення конструкції нитконатягувачів снувальних машин на основі стабілізації/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2017. – С.17-20.
4. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Математичне моделювання нитконатягувачів снувальних машин з використанням трансцендентних рівнянь/ Тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 27-28 квітня 2017 року Том 2., - К. КНУТД, с. 37-38.
5. Кириченко А.М. Удосконалення конструкції пальцевого нитконатягувача на трикотажних машинах/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 15 червня 2017р.- К.:КНУТД, 2017. - С.36-38.
6. Кириченко А.М. Визначення нерівномірності натягу компенсаторів текстильних машин/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 15 червня 2018р.-К.:КНУТД, 2018. - С.32-34.
7. Кириченко А.М. Алгоритм оцінки ефективності роботи компенсаторів натягу нитки / Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції 22 жовтня 2020р.-К.:КНУТД, 2020. - С.112-113.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СПРЯМОВУЮЧИХ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТКИ НА ЇЇ НАТЯГ

Моделювання процесу переробки ниток на круглов'язальних машин великого діаметру полягає в дослідженні процесу взаємодії комплексних ниток та пряжі з направляючими структурними елементами циліндричної форми, у формі тора та пристроями натягу системи подачі ниток в умовах, які максимально наближені до реальних на круглов'язальних машин великого діаметру при виготовленні трикотажних полотен.

Для оптимізації процесу експериментальних досліджень постає питання про визначення основних факторів та їх кількості, які безпосередньо впливають на процес зростання натягу нитки по зонах заправки нитки в процесі переробки на круглов'язальних машинах великого діаметру. Були визначені фактори, які впливають на натяг комплексних ниток та пряжі при їх переробці на круглов'язальних машинах великого діаметру.

В четвертому розділі наводяться результати досліджень по визначенню впливу конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору на вихідний натяг нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Активне планування експерименту при дослідженні процесу переробки ниток на круглов'язальних машин великого діаметру, використання методів математичної статистики дозволяє отримати регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору, які описують процес з необхідною точністю, при цьому число чинників може досягати значної величини. Застосування ЕОМ дозволяє легко

визначати величину коефіцієнтів в рівняннях регресії, їх значущість. Отримані залежності, після відповідних перетворень, можна використовувати для оптимізації процесу взаємодії нитки з структурними елементами, пристроями для натягу системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру.

4.1. Обґрунтування вибору вимірювальної та реєстрової апаратури.

Розробка установок для проведення експерименту

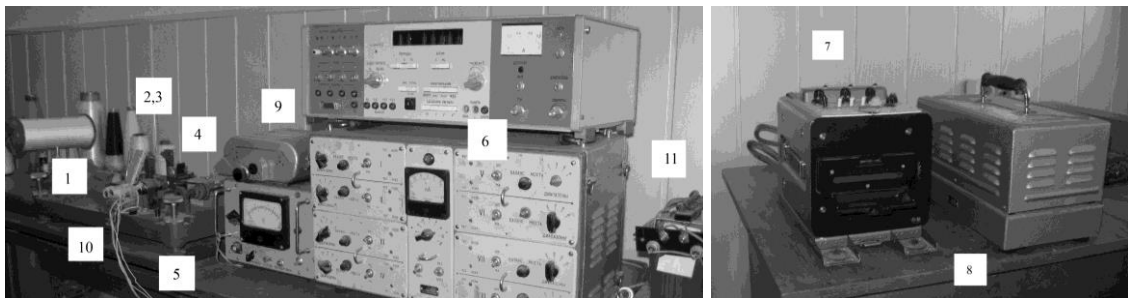
Для реалізації плану експериментальних досліджень впливу конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору на вихідний натяг нитки потрібно було розробити спеціальні установки. Велике значення має обґрунтування та вибір вимірювальної апаратури та апаратури для реєстрації вимірювальних показників, яка є невід'ємною частиною будь-якої експериментальної установки.

Вивчення процесу взаємодії комплексних ниток та пряжі з структурними елементами системи подачі нитки, коли кривизна напрямної поверхні структурних елементів наближається по своєму значенню до радіусу поперечного перетину нитки, привело до необхідності імітації даного виду взаємодії в експериментальних установках.

Для експериментального визначення залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни у формі тору була розроблена установка, представлена на рис.4.1.

Нитка, сходячи з циліндричної шпулі 1, проходить через прилад для натягу, який надає веденій гільці попередній натяг. Послідовно проходячи через перший вимірювальний вузол 2, блок моделювання взаємодії ниток з напрямними 4, другий вимірювальний вузол 3, нитка надходить у пристрій для змотування 10. Електричні сигнали з першого вимірювального вузла 2 і другого вимірювального вузла 3 надходять на 8-и каналний підсилювач 8АНЧ-7М. Далі сигнали

надходять на відповідні гальванометри осцилографу К12-22 (позиція 7 на рис.4.1б). Визначальними факторами при виборі гальванометрів осцилографу є частотна характеристика досліджуваного процесу і вихідний струм з відповідного каналу підсилувача на осцилограф. У таблиці 4.1 представлені характеристики гальванометрів осцилографу К12-22 (аналіз показав, що найбільш підходящими гальванометри для експерименту є гальванометри І і ІІ типу).



а.

б.



в.

Рис.4.1. Експериментальна установка: а – загальний вигляд; б – блок апаратури для реєстрації; в – блок моделювання взаємодії ниток з напрямними

На рис.4.1а показаний загальний вигляд установки. На рис.4.1б показаний блок апаратури для реєстрації. На рис.4.1в показаний блок моделювання взаємодії ниток з напрямними. В експериментальній установці на станині 5 жорстко укріплені перший 2 і другий 3 вимірювальні вузли. Між вимірювальними вузлами 2 і 3 встановлено блок моделювання взаємодії ниток з напрямними 4 для натягу комплексних ниток та пряжі як функцій конструктивних параметрів структурних елементів системи подачі нитки, вхідного натягу, кутів радіального та нормального охоплення в зоні контакту з напрямними великої та малої кривизни

у формі тору. Експериментальна установка включає: 6 - 8-и каналний підсилювач 8АНЧ-7М; 7 - осцилограф К12-22; 8 - блок живлення осцилографа К12-22; 11 - блок живлення підсилювача 8АНЧ-7М.

На рис.4.2. представлена модифікація експериментальної установки з можливістю використання аналогового цифрового перетворювача АЦП та персонального комп'ютера.

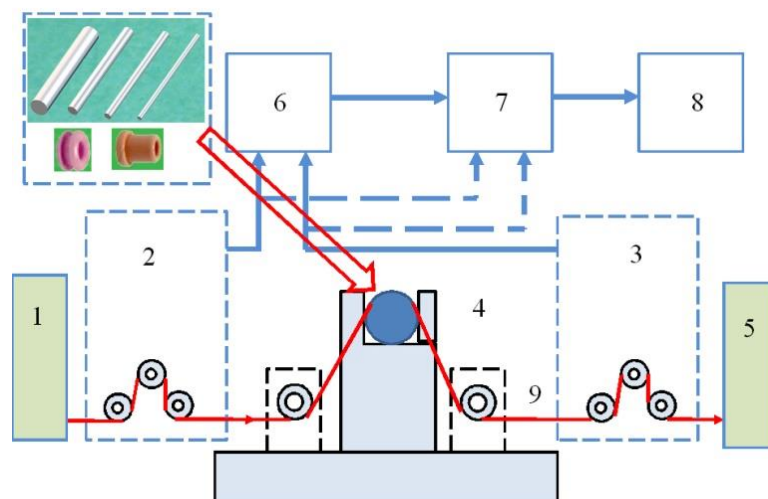


Рис.4.2. Схема експериментальної установки: 1 - блок подачі нитки; 2 - блок виміру натягу веденої гілки нитки; 3 - блок виміру натягу ведучої гілки нитки; 4 - блок моделювання взаємодії ниток з напрямними; 5 - блок прийому нитки; 6 - підсилювач 8АНЧ-7М; 7 – аналоговий цифровий перетворювач АЦП; 8 - персональний комп'ютер; 9 - нитка

Таблиця 4.1

Характеристики гальванометрів осцилографа К12-22

Характеристика гальванометрів	Типи гальванометрів				
	I	II	III	III а	IV
Чутливість, мм/мА, не менше	0,21	0,57	2,37	9,5	32,2
Електричний опір, Ом	16±3	36±7	8±1,5	17±4,5	22±3,5
Максимально допустиме значення постійного струму, мА	30	30	15	3,5	2

Діапазон реєстрації змінних процесів, Гц	Від 0 до 500	Від 0 до 300	Від 0 до 150	Від 0 до 100	Від 0 до 30
--	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------

На рис.4.3 представлені зразки осцилограм. Осцилограма на рис.4.3а отримані для поліамідної комплексної нитки 28 текс для швидкостей $V = 1, 2, 3$ м/с. Осцилограми на рис.4.3б отримані для бавовняної пряжі 27,6 текс для швидкостей $V = 1, 2, 3$ м/с. Осцилограми на рис.4.1.3в отримані для вовняної пряжі 29,9 текс для швидкостей $V = 1, 2, 3$ м/с.

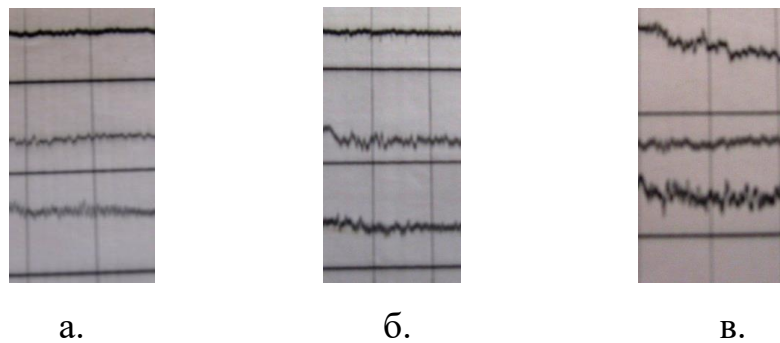


Рис.4.3. Зразки осцилограм

Вимірювальні вузли 2 та 3, включають в себе два ролика, які встановлені в підшипниках на нерухомих осях. Третій ролик 3 встановлений на балочку, яка консольна закріплена таким чином, що внутрішнє кільце підшипника закріплено на ній, а з зовнішнім кільцем підшипника жорстко закріплений ролик взаємодіє з ниткою. Силами тертя в підшипниках нехтуємо. Поперечні і поздовжні розміри балочки обрані такими, що частота власних коливань балочки дорівнює $f = 1400$ Гц. Ця частота у багато разів перевищує частоту найбільш високої складової натягу. На балочку наклеєний тензодатчик з базою в 5 мм, які в парі з іншим тензодатчиком (наклеєним на пластину з того ж матеріалу) утворюють одну половину вимірювального моста. Друга половина розташовується на відповідному каналі в підсилювачі 8АНЧ-7М.

Установка включає третій вимірювальний вузол 3а. Це було зроблено для того, щоб можна було одночасно з експериментальним дослідженням умов взаємодії нитки з напрямною проводити експеримент за визначенням умов роботи різних пристроїв для натягу, які встановлювалися між 3 та 3а вимірювальними

вузлами.

Для варіювання швидкості руху нитки був встановлений ступінчастий привід 8, який забезпечує необхідну швидкість обертання приймальному барабану 9. Зміна кута обхвату ниткою направляючої 6 здійснювалося за допомогою двох рухомих роликів, встановлених в корпусі з можливістю горизонтального переміщення. Нитка на вимірювальний вузол 2 подавалася з циліндричної бобіни 5 з певним попереднім натягом. У приладі була передбачена можливість заміни направляючих з метою визначення впливу радіусу її кривизни на умови взаємодії з ниткою. Описані вище установки дозволяли варіювати: швидкість руху нитки від 0,1 до 1,5 м/с; натяг веденої гілки нитки від 5 до 80 сН; кут обхвату що направляє від 0,7 до 3,14 радіан.

Необхідно відзначити, що осцилограф К12-22, 8-ми канальний підсилювач 8АНЧ-7М і відповідні блоки живлення до них проходили спеціальну тестову перевірку на предмет своєї функціональної придатності і надійності в роботі.

4.2. Розробка планів проведення експерименту

Задача по визначенню впливу будови та виду ниток та пряжі, умов взаємодії з структурними елементами системи подачі нитки на величину натягу перед робочою зоною круглов'язальних машин великого діаметру має велике значення для вирішення питання про стабілізацію натягу. При побудові планів експерименту необхідно враховувати напрям відносного переміщення поверхонь нитки та напрямної, натягу нитки до напрямних структурних елементів, величина розрахункового кута охоплення ниткою напрямних структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру [1]. Модуль жорсткості на згин монониток, комплексних ниток та пряжі, які мають різну ступінь скрутки, є визначальним фактором при визначенні натягу в робочій зоні круглов'язальних машин великого діаметру.

Для круглов'язальних машин великого діаметру визначення основних чинників конструктивних параметрів циліндричних направляючих та у формі тора, пристроїв для натягу нитки, які обумовлюють зміну натягу нитки у здовж лінії заправки на, має значення при виборі стратегії проведення експерименту.

Наукова інформація з даної проблеми дозволяє побудувати середню апіорну діаграму рангів. По одній осі відкладаються чинники – конструктивні і технологічні параметри циліндричних направляючих та у формі тора, пристроїв для натягу нитки, а по іншій суми рангів. Аналіз діаграми рангів дозволив встановити, що найбільш суттєвими є натяг нитки до напрямних структурних елементів, величина розрахункового кута охоплення ниткою напрямних структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру, радіус кривизни напрямної.

При виборі ниток, які переробляються на круглов'язальних машин великого діаметру, нами враховувалися вид матеріалу, структура та геометричні розміри поперечного перетину (розрахунковий діаметр) комплексних ниток та пряжі. У трикотажній промисловості, при виробництві в'язаних полотен на круглов'язальних машинах великого діаметру, для різного асортименту верхнього та нижнього трикотажу, використовують нитки з розрахунковим діаметром від 0,1 до 0,25 мм.

В роботі проведено експериментальне дослідження взаємодії різних за своєю природою натуральних, синтетичних комплексних ниток та пряжі з структурними елементами системи подачі направляючих циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу нитки.

Одним з факторів, який впливає на умови взаємодії нитки з направляючими циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу, є скрутка. При збільшенні скрутки нитки, зростає її модуль жорсткості на згин. Це пояснюється тим, що при збільшенні скрутки зростає питомий тиск між окремими елементарними волокнами, що призводить до зростання сил тертя, які перешкоджають переміщенню елементарних волокон при згині. Величина модуля жорсткості нитки на згин впливає на реальне значення кута обхвату напрямних циліндричної форми та у формі тора, робочих елементів пристроїв для натягу, величина якого визначає натяг нитки.

В роботі були реалізовані п'ять серій експериментів для поліамідних комплексних ниток різної скрутки та бавовняної та вовняної пряжі.

Для першої серії (I – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) експериментів були обрані:

- (варіант 1) поліамідна моно нитка 36.3 текс, з розрахунковим діаметром 0,2 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 14,0 \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 2) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, пологої скрутки $K_r = 100 \text{ скручень} / \text{метр}$, розрахунковим діаметром 0,199 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 3) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, середньої скрутки $K_r = 400 \text{ скручень} / \text{метр}$, розрахунковим діаметром 0,200 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 4) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, високої скрутки $K_r = 800 \text{ скручень} / \text{метр}$, розрахунковим діаметром 0.208 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 0,22 \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$.

Для другої серії (II – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) експериментів були обрані:

- (варіант 2) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, пологої скрутки $K_r = 100 \text{ скручень} / \text{метр}$, розрахунковим діаметром 0,199 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

-(варіант 3) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, середньої скрутки $K_r = 400 \text{ скручень} / \text{метр}$, розрахунковим діаметром 0,200 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 4) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80

елементарних волокон, високої скрутки $K_r = 800$ скручень / метр, розрахунковим діаметром 0.208 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 0,22 \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 5) була обрана бавовняна пряжа 27,6 текс;
- (варіант 6) була обрана вовняна пряжа 29,9 текс.

Для третьої серії (III – для шайбового пристрою для натягу) експериментів були обрані:

- (варіант 2) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, пологої скрутки $K_r = 100$ скручень / метр, розрахунковим діаметром 0,199 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 5) була обрана бавовняна пряжа 27,6 текс;
- (варіант 6) була обрана вовняна пряжа 29,9 текс.

Для четвертої серії (IV - для пальцевого пристрою для натягу) експериментів були обрані:

- (варіант 2) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, пологої скрутки $K_r = 100$ скручень / метр, розрахунковим діаметром 0,199 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 5) була обрана бавовняна пряжа 27,6 текс;
- (варіант 6) була обрана вовняна пряжа 29,9 текс.

Для п'ятої серії (V - для модернізованого пальцевого пристрою для натягу) експериментів були обрані:

- (варіант 2) поліамідна комплексна нитка 28 текс, яка складається з 80 елементарних волокон, пологої скрутки $K_r = 100$ скручень / метр, розрахунковим діаметром 0,199 мм, модуль жорсткості на згин дорівнював $B = 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ cH} \cdot \text{мм}^2$;

- (варіант 5) була обрана бавовняна пряжа 27,6 текс;

- (варіант б) була обрана вовняна пряжа 29,9 текс.

Для першої (I) та другої (II) серії в роботі спланований та реалізований ортогональний план другого порядку для трьох факторів [1]. Загальний вигляд рівняння регресії, для визначення спільного впливу натягу нитки до напрямних структурних елементів P_0 , радіусу кривизни напрямної R та величини розрахункового кута охоплення ниткою напрямних структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру φ_p на натяг нитки після напрямних структурних елементів P , має вигляд

$$P = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (4.1)$$

Для третьої (III), четвертої (IV) та п'ятої (V) серій в роботі спланований та реалізований ортогональний план другого порядку для двох факторів. Загальний вигляд рівняння регресії, для визначення спільного впливу натягу нитки до відповідних пристроїв для натягу нитки P_0 , величини розрахункового кута охоплення ниткою робочих елементів відповідних пристроїв для натягу φ_p на натяг нитки після відповідних пристроїв для натягу P , має вигляд

$$P = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (4.2)$$

Діапазон варіювання факторів в рівняннях (4.1) та (4.2) визначався реальними умовами переробки ниток на круглов'язальних машин великого діаметру. В кодованих значеннях: натягу нитки до напрямних структурних елементів P_0 позначалося x_1 ; радіусу кривизни напрямної R позначався x_2 ; розрахункового кута охоплення ниткою напрямних структурних елементів системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру φ_p позначався x_3 .

В першій серії (I – для напрямних циліндричної форми та у формі тора), для варіантів 1- 4, натяг нитки до напрямних структурних елементів P_0 в центрі експерименту дорівнював 30 сН. В другій серії (II – для напрямних циліндричної

форми та у формі тора), для варіантів 2-6, натяг нитки до напрямних структурних елементів P_0 в центрі експерименту дорівнював 10 сН.

В таблиці 4.2 представлена матриця ортогонального плану другого порядку для першої серії (I – для напрямних циліндричної форми та у формі тора), для варіантів 1- 4.

Таблиця 4.2

Матриця ортогонального плану другого порядку для першої серії (I – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) (для варіантів 1- 4)

№	Фактори					
	Вхідний натяг		Радіус кривизни		Кут обхвату	
	x_1	P_0 , сН	x_2	R , мм	x_3	φ_P , градуси
1	+1	32	+1	1.3	+1	145
2	-1	28	+1	1.3	+1	145
3	+1	32	-1	0.7	+1	145
4	-1	28	-1	0.7	+1	145
5	+1	32	+1	1.3	-1	125
6	-1	28	+1	1.3	-1	125
7	+1	32	-1	0.7	-1	125
8	-1	28	-1	0.7	-1	125
9	-1.215	27.6	0	1.0	0	135
10	+1.215	32.4	0	1.0	0	135
11	0	30	-1.215	0.6	0	135
12	0	30	+1.215	1.4	0	135
13	0	30	0	1.0	-1.215	123
14	0	30	0	1.0	+1.215	147
15	0	30	0	1.0	0	135

Зв'язок між іменованими та кодованими величинами для першої серії (I – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) має вигляд

$$x_1 = \frac{P_0 - 30}{2}, \quad x_2 = \frac{R - 1.0}{0.3}, \quad x_3 = \frac{\phi - 135}{10}. \quad (4.3)$$

В таблиці 4.3 представлена матриця ортогонального плану другого порядку для другої серії (II – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) (варіанти 2-6).

Таблиця 4.3

Матриця ортогонального плану другого порядку для другої серії (II – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) (варіанти 2-6)

№	Фактори					
	Вхідний натяг		Вхідний натяг		Вхідний натяг	
	x_1	P_0 , сН	x_2	R , мм	x_3	φ_P , градуси
1	+1	12	+1	1.3	+1	145
2	-1	8	+1	1.3	+1	145
3	+1	12	-1	0.7	+1	145
4	-1	8	-1	0.7	+1	145
5	+1	12	+1	1.3	-1	125
6	-1	8	+1	1.3	-1	125
7	+1	12	-1	0.7	-1	125
8	-1	8	-1	0.7	-1	125
9	-1.215	7.6	0	1.0	0	135
10	+1.215	12.4	0	1.0	0	135
11	0	10	-1.215	0.6	0	135
12	0	10	+1.215	1.4	0	135
13	0	10	0	1.0	-1.215	123
14	0	10	0	1.0	+1.215	147
15	0	10	0	1.0	0	135

Зв'язок між іменованими та кодованими величинами для другої серії (II – для напрямних циліндричної форми та у формі тора) (варіанти 2-6) має вигляд

$$x_1 = \frac{P_0 - 10}{2}, \quad x_2 = \frac{R - 1.0}{0.3}, \quad x_3 = \frac{\phi - 135}{10}. \quad (4.4)$$

В таблиці 4.2.3 представлена матриця ортогонального плану другого порядку третьої серії (III – для шайбового пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6).

Таблиця 4.4

Матриця ортогонального плану другого порядку третьої серії (III – для шайбового пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6)

№	Фактори			
	Вхідний натяг		Кут обхвату	
	x_1	P_0 , сН	x_3	φ_p , градуси
1	+1	16	+1	80
2	+1	16	-1	40
3	-1	12	+1	80
4	-1	12	-1	40
5	+1	16	0	60
6	-1	12	0	60
7	0	14	+1	80
8	0	14	-1	40
9	0	14	0	60

Зв'язок між іменованими та кодованими величинами для третьої серії (III – для шайбового пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6) має вигляд

$$x_1 = \frac{P_0 - 14}{2}, \quad x_2 = \frac{\alpha - 60}{20}. \quad (4.5)$$

В таблиці 4.5 представлена матриця ортогонального плану другого порядку четвертої серії (IV - для пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6).

Таблиця 4.5

Матриця ортогонального плану для четвертої серії (IV - для пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6)

№	Фактори			
	Вхідний натяг		Вхідний натяг	
	x_1	P_0 , сН	x_3	φ_p , градуси
1	+1	16	+1	180
2	+1	16	-1	140
3	-1	12	+1	180
4	-1	12	-1	140
5	+1	16	0	160
6	-1	12	0	160
7	0	14	+1	180
8	0	14	-1	140
9	0	14	0	160

Зв'язок між іменованими та кодованими величинами для четвертої серії (IV - для пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6) має вигляд

$$x_1 = \frac{P_0 - 14}{2}, x_2 = \frac{\alpha - 160}{20}. \quad (4.6)$$

В таблиці 4.6 представлена матриця ортогонального плану другого порядку п'ятої серії (V - для модернізованого пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6).

Зв'язок між іменованими та кодованими величинами для п'ятої серії (V - для модернізованого пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6) має вигляд

$$x_1 = \frac{P_0 - 14}{2}, x_2 = \frac{\alpha - 160}{20}. \quad (4.7)$$

Таблиця 4.6

Матриця ортогонального плану для п'ятої серії (V - для модернізованого пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6)

№	Фактори			
	Вхідний натяг		Вхідний натяг	
	x_1	P_0 , сН	x_3	φ_p , градуси
1	+1	16	+1	180
2	+1	16	-1	140
3	-1	12	+1	180
4	-1	12	-1	140
5	+1	16	0	160
6	-1	12	0	160
7	0	14	+1	180
8	0	14	-1	140
9	0	14	0	160

4.3. Дослідження впливу конструктивних параметрів спрямовувачів нитки на її натяг

В результаті реалізації ортогональних планів другого порядку для трьох факторів (таблиці 4.2- 4.3) для першої серії (варіанти 1- 4) та другої серії (варіанти 2- 6) проведено по 10 паралельних вимірів, середні значення яких представлені в таблицях 4.7 та 4.8.

Використовуючи відому методику визначення коефіцієнтів в рівнянні регресії (4.1) для ортогонального плану 2 порядку, з урахуванням залежностей (4.3), були отримані регресійні залежності.

Перша серія (I) для $27,6сН \leq P_0 \leq 32,4сН$:
для поліамідної моно нитки 36,3 текс (варіант 1)

$$P_{I-1} = 3.27 + 0.72P_0 - 9.29R - 0.14\varphi + 0.53P_0R + \\ + 0.01P_0\varphi + 0.16R\varphi - 0.02P_0^2 - 6.44R^2 - 0.001\varphi^2, \quad (4.8)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки
 $K_r = 100$ скручень / метр (варіант 2)

$$P_{I-2} = 112.35 - 2.13P_0 - 19.77R - 0.63\varphi - 0.88P_0R + \\ + 0.02P_0\varphi - 0.21R\varphi + 0.05P_0^2 + 24.67R^2 + 0.003\varphi^2, \quad (4.9)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки
 $K_r = 400$ скручень / метр (варіант 3)

$$P_{I-3} = 101.06 - 1.83P_0 - 15.98R - 0.59\varphi - 0.85P_0R + \\ + 0.02P_0\varphi - 0.19R\varphi + 0.05P_0^2 + 22.33R^2 + 0.003\varphi^2, \quad (4.10)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки
 $K_r = 800$ скручень / метр (варіант 4)

$$P_{I-4} = 91.14 - 1.62P_0 - 10.12R - 0.57\varphi - 0.80P_0R + \\ + 0.02P_0\varphi - 0.18R\varphi + 0.04P_0^2 + 19.0R^2 + 0.003\varphi^2. \quad (4.11)$$

Для розрахункового значення кута охопту в центрі експерименту $\varphi_p = 135^\circ$, при зміні натягу нитки до спрямовуючого структурного елементу $27,6сН \leq P_0 \leq 32,4сН$, рівняння (4.9)-(4.11) приймають вигляд:

для поліамідної моно нитки 36.3 текс (варіант 1)

$$P_{I-1} = 1.94P_0 + 12.75R - 0.02P_0^2 - 6.44R^2 + 0.53P_0R - 24.65, \quad (4.12)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки
 $K_r = 100$ скручень / метр (варіант 2)

$$P_{I-2} = 79.67 + 0.23P_0 - 48.12R - 0.88P_0R + 0.05P_0^2 + 24.67R^2, \quad (4.13)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки
 $K_r = 400$ скручень / метр (варіант 3)

$$P_{I-3} = 70.62 + 0.47P_0 - 42.44R - 0.85P_0R + 0.05P_0^2 + 22.33R^2, \quad (4.14)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки
 $K_r = 800$ скручень / метр (варіант 4)

$$P_{I-4} = 59.48 + 0.68P_0 - 33.96R - 0.80P_0R + 0.04P_0^2 + 19.0R^2. \quad (4.15)$$

Таблиця 4.7

Результати першої серії (I) експериментальних досліджень по визначенню сумісного впливу натягу нитки до спрямовуючого елементу P_0 , радіусу спрямовуючого елементу R та розрахункового значення кута охопту φ_P на натяг нитки після спрямовуючого елементу P (варіанти 1-4)

№	Фактори			$P_{I-1}, \text{сН}$	$P_{I-2}, \text{сН}$	$P_{I-3}, \text{сН}$	$P_{I-4}, \text{сН}$
	P_0	R	φ_P				
	x_1	x_2	x_3				
1	+1	+1	+1	50.35	88.53	87.10	85.13
2	-1	+1	+1	42.94	77.51	76.18	74.33
3	+1	-1	+1	38.26	107.17	104.11	99.81
4	-1	-1	+1	32.21	93.85	90.98	86.94
5	+1	+1	-1	45.47	78.57	77.31	75.55
6	-1	+1	-1	38.83	68.79	67.61	65.96
7	+1	-1	-1	35.41	54.48	91.77	87.97
8	-1	-1	-1	29.99	82.73	80.19	76.69
9	-1.215	0	0	36.06	76.80	75.09	72.72
10	+1.215	0	0	43.95	90.09	88.24	85.67
11	0	-1.215	0	31.65	101.21	97.77	92.92
12	0	+1.215	0	45.47	77.03	75.84	74.18
13	0	0	-1.215	37.79	77.57	75.91	73.61
14	0	0	+1.215	42.31	89.76	87.86	85.19
15	0	0	0	39.98	83.45	81.67	79.19

На рисунку 4.4 представлені поверхні відгуку для першої серії (I) експериментів для варіантів 1-4. Адекватність отриманих регресійних

залежностей перевіряли з використанням спеціальної комп'ютерної програми для статистичної обробки експериментальних даних [1].

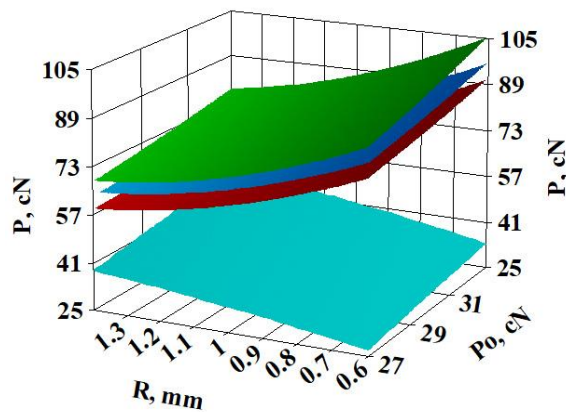


Рис. 4.4. Поверхні відгуку для першої серії (I) експериментів для варіантів 1-4: ■ - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки; ■ - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки; ■ - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки; ■ - для поліамідної моно нитки 36.3 текс

Для розрахункового значення кута охопту $\varphi_p = 135^\circ$, натягу нитки до спрямовуючого структурного елементу $P_0 = 30cH$, в центрі експерименту, рівняння (4.12)-(4.15) приймають вигляд:

для поліамідної моно нитки 36.3 текс (варіант 1)

$$P_{I-1} = 15.55 + 28.65R - 6.44R^2, \quad (4.16)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки

$$P_{I-2} = 133.89 - 74.52R + 24.67R^2, \quad (4.17)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки

$$P_{I-3} = 127.47 - 67.94R + 22.33R^2, \quad (4.18)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки

$$P_{I-4} = 118.13 - 57.96R + 19.0R^2. \quad (4.19)$$

На рисунку 4.5 представлені графічні залежності зміни натягу нитки після спрямовуючого структурного елементу (перша серія I), які були отримані з використанням залежностей (4.16)-(4.19).

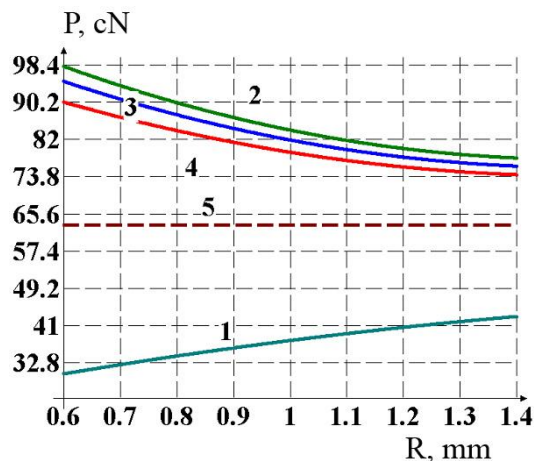


Рис. 4.5. Графічні залежності зміни натягу нитки після спрямовуючого структурного елементу (перша серія I): 1 - для поліамідної моно нитки 36.3 текс; 2 - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки; 3 - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки; 4 - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки; 5 – залежність для поліамідної комплексної нитки, коли $D \gg d$, $D = 2R$, $d = 2r$

Для варіантів 2-4, для поліамідних комплексних ниток, натяг P при збільшенні радіусу R спрямовуючого структурного елементу зменшується. Це пояснюється зменшенням деформації поверхні нитки в зоні контакту та, як наслідок, зменшенням значення кута охоплення ниткою спрямовуючого структурного елементу. Для варіанту 1, для моно нитки, натяг P при збільшенні радіусу R спрямовуючого структурного елементу зростає, що пояснюється збільшенням кута охоплення. Пряма 5 є асимптотою для залежностей 1-4, яка відповідає випадку, коли $D \gg d$.

В таблиці 4.8 представлені результати реалізації ортогональних планів другого порядку для трьох факторів для другої серії (варіанти 2- 6).

Обробка результатів експериментів для другої серії (II), з використанням даних таблиці 4.8, при $7,6\text{сН} \leq P_0 \leq 12,4\text{сН}$ дозволила отримати наступні регресійні залежності:

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки

$$K_r = 100 \text{ скручень / метр (варіант 2)}$$

$$P_{II-2} = 38.96 + 1.3P_0 - 6.21R - 0.49\varphi - 2.88P_0R + \\ + 0.03P_0\varphi - 0.14R\varphi + 0.07P_0^2 + 18.77R^2 + 0.002\varphi^2 \quad (4.20)$$

Таблиця 4.8

Результати другої серії (II) експериментальних досліджень по визначенню сумісного впливу натягу нитки до спрямовуючого елементу P_0 , радіусу спрямовуючого елементу R та розрахункового значення кута охопту φ_P на натяг нитки після спрямовуючого елементу P (варіанти 2- 6)

№	Фактори			P_{II-2} , сН	P_{II-3} , сН	P_{II-4} , сН	P_{II-5} , сН	P_{II-6} , сН
	P_0	R	φ_P					
	x_1	x_2	x_3					
1	+1	+1	+1	33.93	33.03	31.78	44.82	41.51
2	-1	+1	+1	21.56	20.86	19.89	8.79	8.21
3	+1	-1	+1	48.44	46.11	42.86	48.79	44.29
4	-1	-1	+1	28.58	26.91	24.56	9.07	8.41
5	+1	+1	-1	30.07	29.28	28.16	34.62	33.68
6	-1	+1	-1	19.15	18.53	17.67	6.79	6.64
7	+1	-1	-1	42.38	40.32	37.43	37.18	35.62
8	-1	-1	-1	25.11	23.64	21.57	6.99	6.79
9	-1.215	0	0	20.91	20.02	18.77	3.87	3.7
10	+1.215	0	0	37.15	35.89	34.14	44.47	41.95
11	0	-1.215	0	40.64	38.17	34.72	25.22	23.61
12	0	+1.215	0	25.46	24.77	23.82	23.38	22.26
13	0	0	-1.215	26.71	25.71	24.31	20.38	19.91
14	0	0	+1.215	30.98	29.83	28.20	27.96	25.71
15	0	0	0	28.77	27.69	26.19	23.82	22.59

Для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки

$K_r = 400$ скручень / метр (варіант 3)

$$P_{II-3} = 35.41 + 1.27P_0 - 3.56R - 0.47\varphi - 2.7P_0R + \\ + 0.02P_0\varphi - 0.12R\varphi + 0.06P_0^2 + 16.55R^2 + 0.002\varphi^2, \quad (4.21)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки

$K_r = 800$ скручень / метр (варіант 4)

$$P_{II-4} = 29.07 + 1.08P_0 + 0.03R - 0.41\varphi - 2.45P_0R + \\ + 0.02P_0\varphi - 0.11R\varphi + 0.06P_0^2 + 13.66R^2 + 0.002\varphi^2, \quad (4.22)$$

для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5)

$$P_{II-5} = 1.22P_0 - 0.86R - 0.01\varphi + 0.33R^2 - \\ - 0.06P_0R + 0.006P_0\varphi - 0.98, \quad (4.23)$$

для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

$$P_{II-6} = 0.59P_0 + 0.04R + 0.01\varphi - \\ - 0.05P_0R + 0.002P_0\varphi + 2.39. \quad (4.24)$$

Для розрахункового значення кута охопту в центрі експерименту $\varphi_p = 135^\circ$, при зміні натягу нитки до спрямовуючого структурного елементу $7,6сН \leq P_0 \leq 12,4сН$, рівняння (4.20)-(4.24) приймають вигляд:

$$P_{II-2} = 9.22 + 4.74P_0 - 24.65R + 0.07P_0^2 + 18.77R^2 - 2.88P_0R, \quad (4.25)$$

$$P_{II-3} = 6.23 + 4.58P_0 - 20.21R + 0.06P_0^2 + 16.55R^2 - 2.7P_0R, \quad (4.26)$$

$$P_{II-4} = -2.48 + 4.32P_0 - 14.28R + 0.06P_0^2 + 13.66R^2 - 2.45P_0R, \quad (4.27)$$

$$P_{II-5} = 0.18P_0 - 0.86R + 0.33R^2 - 0.06P_0R + 1.28, \quad (4.28)$$

$$P_{II-6} = 0.65P_0 + 0.04R - 0.05P_0R + 2.69. \quad (4.29)$$

На рисунку 4.6 представлені поверхні відгуку для другої серії (II) експериментів для варіантів 2-6. Залежності натягу нити після спрямовуючого структурного елементу від натягу нитки до спрямовуючого елементу P_0 , радіусу спрямовуючого елементу R будувалися при фіксованому значенні розрахункового кута охопту φ_p . Це значення відповідало значенню кута охопту в центрі експерименту $\varphi_p = 135^\circ$. (таблиця 4.3). Адекватність отриманих

регресійних залежностей перевіряли з використанням спеціальної комп'ютерної програми для статистичної обробки експериментальних даних [1].

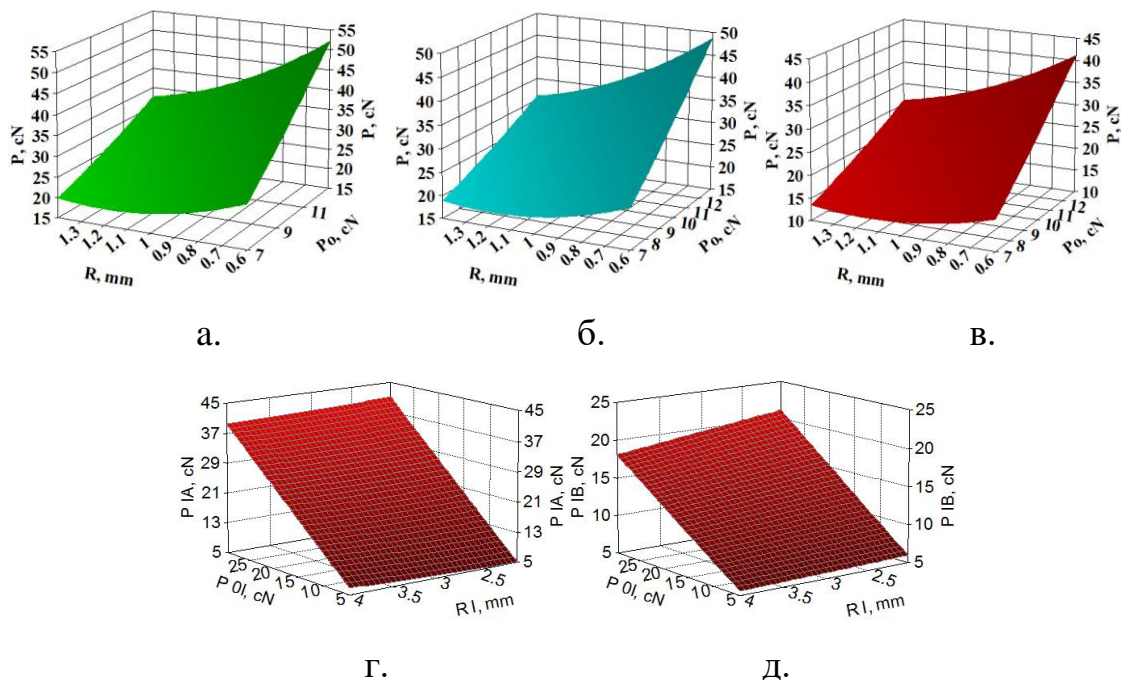


Рис. 4.6. Поверхні відгуку для другої серії (II) експериментів для варіантів 2-6: а - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки (варіант 2); б - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки (варіант 3); в - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки (варіант 4); г - для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5); д - для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

Для розрахункового значення кута охопту в центрі експерименту $\varphi_p = 135^\circ$, натягу нитки до спрямовуючого структурного елементу $P_0 = 10 \text{ cH}$, в центрі експерименту, рівняння (4.25)-(4.29) приймають вигляд:

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки

$K_r = 100 \text{ скручень / метр}$ (варіант 2)

$$P_{II-2} = 63.62 - 53.45R + 18.77R^2, \quad (4.30)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, середньої скрутки

$K_r = 400 \text{ скручень / метр}$ (варіант 3)

$$P_{II-3} = 58.03 - 47.21R + 16.55R^2, \quad (4.31)$$

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, високої скрутки

$$K_r = 800 \text{ скручень} / \text{метр} \text{ (варіант 4)}$$

$$P_{II-4} = 46.72 - 38.78R + 13.66R^2. \quad (4.32)$$

На рисунку 4.7 представлені графічні залежності зміни натягу нитки після спрямовуючого структурного елементу (другої серії II), які були отримані з використанням залежностей (4.30)-(4.32). Для варіантів 2-4, для поліамідних комплексних ниток, натяг P при збільшенні радіусу R спрямовуючого структурного елементу зменшується. Це пояснюється зменшенням деформації поверхні нитки в зоні контакту та, як наслідок, зменшенням значення кута охоплення ниткою спрямовуючого структурного елементу.

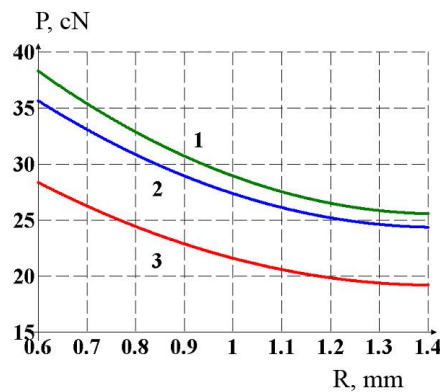


Рис. 4.7. Графічні залежності зміни натягу нитки після спрямовуючого структурного елементу (другої серії II), варіанти 2-4

Отримані результати можуть використовуватися при оптимізації технологічних процесів на круглов'язальних машинах великого діаметру на основі стабілізації натягу, коли ще на початковій стадії можна визначати напруженість процесу формування в'язаного полотна.

4.4. Дослідження впливу конструктивних параметрів пристроїв для натягу нитки на вихідний натяг

В результаті реалізації ортогонального плану другого порядку для двох факторів (таблиця 4.4) для третьої серії (III – для шайбового пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6) проведено по 10 паралельних вимірів, середні значення яких представлені в таблиці 4.9.

Використовуючи відому методику визначення коефіцієнтів в рівнянні

регресії (4.2) для ортогонального плану 2 порядку, з урахуванням залежностей (4.5), були отримані регресійні залежності:

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки $K_r = 100$ скручень / метр (варіант 2)

$$P_{III-2} = 8,15 + 0,71P_0 - 0,09\alpha + 0,01P_0\alpha + 0,006P_0^2 + 0,001\alpha^2, \quad (4.33)$$

для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5)

$$P_{III-5} = 7,03 + 0,72P_0 - 0,08\alpha + 0,01P_0\alpha + 0,005P_0^2 + 0,0006\alpha^2, \quad (4.34)$$

для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

$$P_{III-6} = 6,11 + 0,76P_0 - 0,07\alpha + 0,008P_0\alpha + 0,005P_0^2 + 0,0005\alpha^2. \quad (4.35)$$

Таблиця 4.9

Результати третьої серії (III) експериментальних досліджень по визначенню натягу нитки після шайбового пристрою P в залежності від натягу нитки до шайбового пристрою P_0 та кута охоплення ниткою направляючого стрижня α

№	Фактори				P_{III-2}	P_{III-5}	P_{III-6}
	Вхідний натяг		Вхідний натяг				
	x_1	P_0 , сН	x_2	α , градуси			
1	+1	16	+1	80	32,09	30,03	28,09
2	+1	16	-1	40	24,86	23,85	22,87
3	-1	12	+1	80	24,79	23,16	21,61
4	-1	12	-1	40	19,44	18,59	17,77
5	+1	16	0	60	28,09	26,64	25,24
6	-1	12	0	60	21,81	20,62	19,49
7	0	14	+1	80	28,45	26,59	24,85
8	0	14	-1	40	22,15	21,22	20,32
9	0	14	0	60	24,95	23,63	22,36

На рисунку 4.8 представлені поверхні відгуку для третьої серії (III) експериментів для варіантів 2, 5, 6. Залежності натягу нитки після шайбового

пристрою P від натягу нитки до шайбового пристрою P_0 та кута охоплення ниткою направляючого стрижня α . Адекватність отриманих регресійних залежностей перевіряли з використанням спеціальної комп'ютерної програми для статистичної обробки експериментальних даних [1].

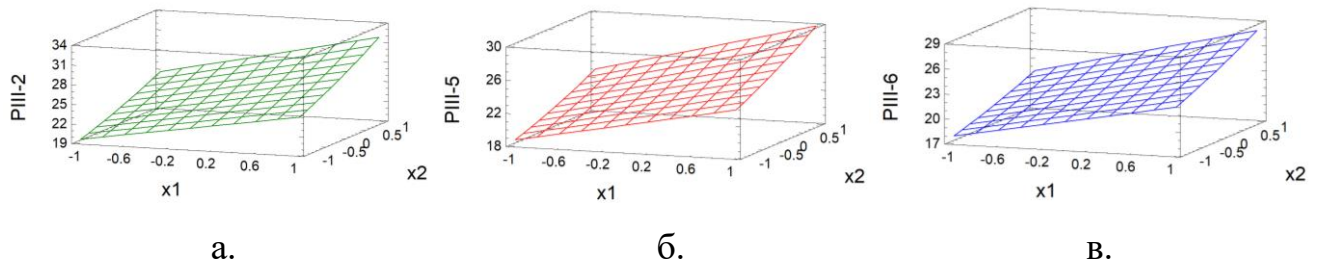


Рис.4.8. Залежності натягу нитки після шайбового пристрою P від натягу нитки до шайбового пристрою P_0 та кута охоплення ниткою направляючого стрижня α : а - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки (варіант 2); б - для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5); в - для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

Аналіз залежностей (4.33)-(4.35) показав, що при збільшенні натягу нитки до шайбового пристрою P_0 та кута охоплення ниткою направляючого стрижня α відбувається зростання натягу нитки після шайбового пристрою P , що необхідно враховувати при проектуванні системи подачі нитки для круглов'язальних машинах великого діаметру.

В результаті реалізації ортогонального плану другого порядку для двох факторів (таблиця 4.5) для четвертої серії (IV - для пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6) проведено по 10 паралельних вимірів, середні значення яких представлені в таблиці 4.10.

Використовуючи відому методику визначення коефіцієнтів в рівнянні регресії (4.2) для ортогонального плану 2 порядку, з урахуванням залежностей (4.6), були отримані регресійні залежності:

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки $K_r = 100 \text{ скручень} / \text{метр}$ (варіант 2)

$$P_{IV-2} = 1,87 + 1,02P_0 - 0,015\alpha + 0,003P_0\alpha + 0,00004P_0^2 + 0,0000\alpha^2, \quad (4.36)$$

для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5)

$$P_{IV-5} = 2,06 + 0,98P_0 - 0,014\alpha + 0,002P_0\alpha + 0,001P_0^2, \quad (4.37)$$

для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

$$P_{IV-6} = 1,44 + 1,007P_0 - 0,009\alpha + 0,0026P_0\alpha + 0,000P_0^2 + 0,00003\alpha^2. \quad (4.38)$$

Таблиця 4.10

Результати третьої серії (IV) експериментальних досліджень по визначенню натягу нитки після пальцевого пристрою P в залежності від натягу нитки до пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α

№	Фактори				P_{IV-2}	P_{IV-5}	P_{IV-6}
	Вхідний натяг		Вхідний натяг				
	x_1	P_0 , сН	x_2	α , градуси			
1	+1	16	+1	180	26,50	25,41	24,37
2	+1	16	-1	140	24,37	23,53	22,72
3	-1	12	+1	180	19,88	19,06	18,27
4	-1	12	-1	140	18,28	17,65	17,04
5	+1	16	0	160	25,42	24,46	23,53
6	-1	12	0	160	19,06	18,34	17,65
7	0	14	+1	180	23,19	22,24	21,32
8	0	14	-1	140	21,33	20,59	19,88
9	0	14	0	160	22,24	21,39	20,59

На рисунку 4.9 представлені поверхні відгуку для четвертої серії (IV) експериментів для варіантів 2, 5, 6. Залежності натягу нитки після пальцевого пристрою P від натягу нитки до пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α . Адекватність отриманих регресійних залежностей перевіряли з використанням спеціальної комп'ютерної програми для статистичної обробки експериментальних даних [1].

В результаті реалізації ортогонального плану другого порядку для двох

факторів (таблиця 4.6) для п'ятої серії (V - для модернізованого пальцевого пристрою для натягу) (варіанти 2, 5, 6) проведено по 10 паралельних вимірів, середні значення яких представлені в таблиці 4.11.

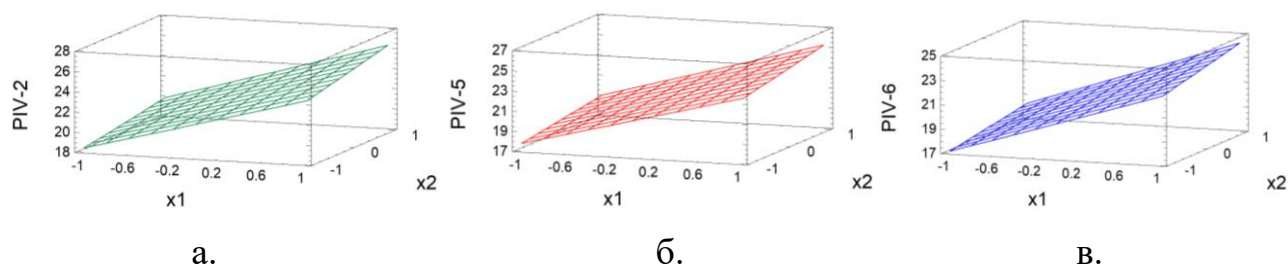


Рис.4.9. Залежності натягу нитки після пальцевого пристрою P від натягу нитки до пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α : а - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки (варіант 2); б - для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5); в - для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

Таблиця 4.11

Результати третьої серії (V) експериментальних досліджень по визначенню натягу нитки після модернізованого пальцевого пристрою P в залежності від натягу нитки до модернізованого пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α

№	Фактори				P_{V-2}	P_{V-5}	P_{V-6}
	Вхідний натяг		Вхідний натяг				
	x_1	$P_0, \text{сН}$	x_2	$\alpha, \text{градуси}$			
1	+1	16	+1	180	18,67	18,08	17,53
2	+1	16	-1	140	17,16	16,75	16,34
3	-1	12	+1	180	13,99	13,56	13,14
4	-1	12	-1	140	12,87	12,56	12,26
5	+1	16	0	160	17,89	17,40	16,92
6	-1	12	0	160	13,42	13,05	12,69
7	0	14	+1	180	16,33	15,82	15,33

8	0	14	-1	140	15,02	14,65	14,30
9	0	14	0	160	15,66	15,23	14,81

Використовуючи відому методику визначення коефіцієнтів в рівнянні регресії (4.2) для ортогонального плану 2 порядку, з урахуванням залежностей (4.7), були отримані регресійні залежності:

для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки

$$K_r = 100 \text{ скручень / метр (варіант 2)}$$

$$P_{V-2} = 1,59 + 0,72P_0 - 0,014\alpha + 0,002P_0\alpha - 0,0006P_0^2 + 0,00004\alpha^2, \quad (4.39)$$

для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5)

$$P_{V-5} = 0,31 + 0,78P_0 - 0,006\alpha + 0,002P_0\alpha - 0,0000P_0^2 + 0,0000\alpha^2, \quad (4.40)$$

для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

$$P_{V-6} = 1,25 + 0,72P_0 - 0,009\alpha + 0,0019P_0\alpha - 0,0000P_0^2 + 0,00002\alpha^2. \quad (4.41)$$

На рисунку 4.10 представлені поверхні відгуку для п'ятої серії (V) експериментів для варіантів 2, 5, 6. Залежності натягу нитки після модернізованого пальцевого пристрою P від натягу нитки до модернізованого пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α . Адекватність отриманих регресійних залежностей перевіряли з використанням спеціальної комп'ютерної програми для статистичної обробки експериментальних даних [1].

Аналіз залежностей (4.39)-(4.41) показав, що при збільшенні натягу нитки до пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α відбувається зростання натягу нитки після пальцевого пристрою P , що необхідно враховувати при проектуванні системи подачі нитки для круглов'язальних машинах великого діаметру. Використання модернізованого пальцевого пристрою дозволяє зменшити зростання натягу по абсолютній величині за рахунок виключення деформації перетину в точках входу та виходу нитки з пристрою.

Висновки по розділу 4

1. Для реалізації серії експериментальних досліджень було сконструйовано електронну тензометричну установку для дослідження процесу взаємодії комплексних ниток та пряжі з направляючими структурними елементами циліндричної форми, у формі тора та пристроями натягу системи подачі ниток в умовах, які максимально наближені до реальних на круглов'язальних машин великого діаметру при виготовленні трикотажних полотен.
2. В роботі, для експериментальних досліджень, був проведений вибір комплексних ниток та пряжі які найбільш широко використовуються при переробці на круглов'язальних машинах великого діаметру. Необхідною умовою було близьке спів падіння між собою розрахункового діаметру. Для експерименту були обрані: поліамідна комплексна нитка 28 текс малої, середньої та високої скрутки; бавовняна пряжа 27,6 текс; вовняна пряжа 29,9 текс.

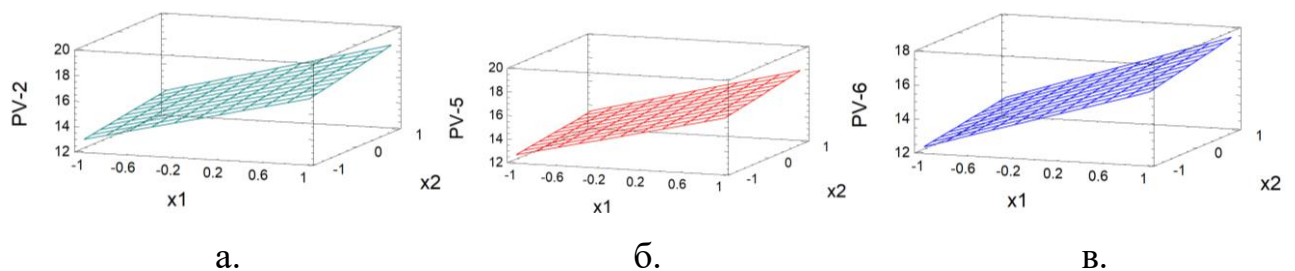


Рис.4.10. Залежності натягу нитки після модернізованого пальцевого пристрою

P від натягу нитки до модернізованого пальцевого пристрою P_0 та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні α : а - для поліамідної комплексної нитки 28 текс, пологої скрутки (варіант 2); б - для бавовняної пряжі 27,6 текс (варіант 5); в - для вовняної пряжі 29,9 текс (варіант 6)

3. Були визначені фактори, які впливають на натяг комплексних ниток та пряжі при їх переробці на круглов'язальних машинах великого діаметру. Для п'яти серій були розроблені плани проведення експериментальних досліджень, при цьому використовували активне планування експерименту при реалізації ортогональних планів 2-го порядку. Обробка експериментальних даних виконувалася на комп'ютері з використанням спеціально розробленого програмного забезпечення.
4. Було досліджено вплив конструктивних параметрів структурних направляючих

елементів циліндричної форми та у формі тора системи подачі нитки круглов'язальних машинах великого діаметру на вихідний натяг. В роботі були отримані регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі після направляючих елементів в залежності від натягу веденої гілки до направляючої, радіусу направляючої циліндричної форми та у формі тора, кута охоплення ниткою направляючої у формі тора. Були побудовані відповідні поверхні відгуку, проведена оцінка значущості коефіцієнтів в рівняннях регресії для комплексних ниток та пряжі.

5. В роботі було досліджено вплив конструктивних параметрів пристроїв натягу системи подачі ниток круглов'язальних машинах великого діаметру на вихідний натяг. Отримані регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі як функцій натягу веденої гілки, кута охоплення ниткою направляючого стрижня для шайбового пристрою для натягу та кута охоплення ниткою циліндричної поверхні для пальцевого пристрою для натягу. Були побудовані відповідні поверхні відгуку, проведена оцінка значущості коефіцієнтів в рівняннях регресії.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Shcherban' V., Makarenko J., Melnyk G., Shcherban' Y., Petko A., Kirichenko A. Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guides/ V. Shcherban', J. Makarenko, G. Melnyk, Y. Shcherban', A. Petko, A. Kirichenko // *Fibres and Textiles*. – 2019. – volume 26 - № 4 – pp. 59-68.

РОЗДІЛ 5

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТКИ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ ТА ЇХ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Дослідження впливу конструкції пристроїв для натягу нитки, компенсаторів натягу на умови їх взаємодії з ниткою, з урахування її реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину мають важливе значення для удосконалення технологічних процесів на круглов'язальних машинах великого діаметру з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається[1, 2, 5-7].

Використання рекурсивного підходу для визначення натягу ниток в робочій зоні круглов'язальних машинах великого діаметру дозволяє удосконалити систему подачі нитки за рахунок оптимізації геометричних та технологічних параметрів лінії заправки та структурних елементів у вигляді спрямовуючих елементів циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу та компенсаторів натягу[1, 3-4, 6].

5.1. Удосконалення конструкції пальцевого пристрою для натягу нитки

На рис.5.1 представлені загальний вигляд модернізованого пальцевого пристрою для натягу [9]. Нитка 5 огинає послідовно встановлений на кронштейні 7 правий направляючий ролик в підшипниках 6 бокову поверхню циліндру 1 та встановлений на кронштейні 7 лівий направляючий ролик в підшипниках 6 та поступає в зону в'язання. При необхідності зменшення вихідного натягу нитки за допомогою регулюючого гвинта 4 вивільняється притискна муфта 3 і правий диск 2 зсувається відносно утворюючої циліндра 1 вправо та обертається відносно вісі циліндру 1 проти годинникової стрілки. При необхідності збільшення вихідного натягу нитки за допомогою регулюючого гвинта 4 вивільняється притискна муфта 3 і правий диск 2 зсувається відносно утворюючої циліндра 1 вліво та обертається відносно вісі циліндру 1 за годинниковою стрілкою.

Формула для визначення вихідного натягу нитки P_1 буде мати вигляд

$$P_1 = P_0 e^{2\pi k \mu_4 \sin \varphi}, \quad (5.1)$$

де P_1 - натяг нитки після модернізованого пальцевого пристрою для натягу;

P_0 - натяг нитки до модернізованого пальцевого пристрою для натягу;

μ_4 - коефіцієнти тертя між ниткою та поверхнею направляючого циліндру модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки;

k - кількість повних обертів нитки навколо направляючого циліндру модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки;

φ - кут нахилу вісі нитки до утворюючій направляючого циліндру модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки.

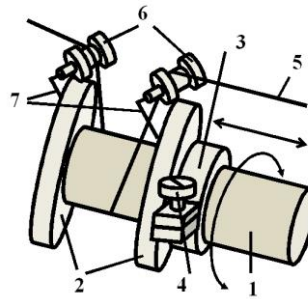


Рис.5.1. Модернізований пальцевий пристрій для натягу

Для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичної моделі модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки в роботі була реалізована серія експериментальних досліджень, з використанням розробленої електричної тензометричної установки для визначення вихідного натягу нитки після модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки. Для проведення експерименту були обрані поліамідна комплексна нитка 28 текс, бавовняна пряжа 27,6 текс, вовняна пряжа 29,9 текс. Результати експериментальних досліджень наведені в таблиці 5.1.

Аналіз даних таблиці 5.1 показує, що модернізований пальцевий пристрій для натягу має найменшу нерівномірність натягу 1,2-2,5%, що майже в три рази менше ніж у шайбового та пальцевого пристроїв для натягу (дивись розділ 3). Це пояснюється тим, що в цих конструкціях присутні ділянки, де відбувається контакт нитки з напрямними великої кривизни, а при цьому виникає додаткове зростання натягу завдяки зминанню. Це явище ще більше посилюється завдяки

нерівномірності нитки за діаметром. На ділянках, де присутні шишки, потовщення зростання натягу буде мати стрибкоподібний характер за рахунок зростання величини кута охоплення в зоні контакту.

Проведений аналіз роботи модернізованого пальцевого пристрою для натягу круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину при умові постійного значення вхідного натягу. Результати теоретичних досліджень порівнювалися з експериментальними даними, отриманими з використанням спеціальної електричної тензометричної установки, для оцінки коректності зроблених припущень при побудові математичної моделі модернізованого пальцевого пристрою для натягу. Порівняльний аналіз показав, що похибка знаходиться в межах 2-8%.

Отримані результати дозволили встановити, що для модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки нерівномірність натягу склала: для вовняної пряжі - 2,5%; для бавовняної пряжі - 1,7% ; для поліамідної комплексної нитки – 1,2%. Була встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з модернізованим пальцевим пристроєм для натягу нитки. Найбільше значення натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для поліамідної комплексної нитки при взаємодії з модернізованим пальцевим пристроєм для натягу.

5.2. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами круглов'язальних машин

Трубчасті спрямовувачі нитки широко використовуються на сучасних круглов'язальних машинах великого діаметру [2, 6, 7]. Відсутність методики розрахунку натягу нитки при взаємодії з трубчастими спрямовувачами не дозволяє оптимізувати їх конструкцію з урахуванням реальних властивостей сировини та законів зміни вхідного натягу. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів на сучасних круглов'язальних машинах великого діаметру з позиції підвищення продуктивності та якості продукції що випускається [2]. Таким чином, визначення

натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами круглов'язальних машин є актуальною проблемою, яка має важливе значення для удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру.

Таблиця 5.1

Результати експериментального визначення натягу нитки після модернізованого пальцевого пристрою для натягу нитки

Тип	Вид нитки	Натяг нитки P_l , сН										Нерівномірність натягу, %
		Відстань на ділянці нитки L , мм										
		100	199	298	397	496	595	694	793	892	991	
Модернізований пальцевий	Поліамідна	24,2	24,1	24,2	24,3	24,2	24,1	24,0	24,2	24,0	24,2	1,2
	Бавовняна	24,1	24,0	24,2	24,3	24,4	24,1	24,4	24,3	24,2	24,3	1,7
	Вовняна	24,4	24,2	24,0	24,6	24,4	24,3	24,5	24,0	24,3	24,4	2,5

Трубчасті спрямовувачі є складовою частиною системи подачі нитки на сучасних круглов'язальних машинах великого діаметру. Відсутність досліджень процесу взаємодії нитки з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою та з урахуванням нелінійного характеру залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення не дозволяє оптимізувати геометричні розміри направляючої, що дозволило мінімізувати натяг в процесі роботи технологічного устаткування і підвищити продуктивність. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної

проблеми є праці провідних вчених в галузях технології трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень[1, 4].

Удосконалення конструкції трубчастих спрямовувачів нитки круглов'язальних машинах великого діаметру дозволяє мінімізувати її натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції що випускається.

При вирішенні цієї задачі необхідно:

- встановити залежності натягу нитки при її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою з урахуванням нелінійного характеру залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної;

- встановити залежності впливу радіусу кривизни напрямної на величину вихідного натягу з урахуванням співвідношення радіусу нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача.

На рис.5.2 показана загальна розрахункова схема. Нитка огинає циліндричну напрямну поверхню радіусу ρ . Вхідний натяг нитки дорівнює P_0 , а вихідний натяг нитки дорівнює P .

Система диференціальних рівнянь, яка описує рівновагу нескінченно малого елемента нитки має вигляд

$$\frac{dP}{ds} = F_{TP}, ds = \rho d\phi, \frac{Pd\phi}{ds} = N, F_{TP} = f_{TP}N, f = a\left(\frac{P\phi}{\rho}\right)^n, \quad (5.2)$$

$$f_{TP} = \frac{4 \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{\delta + \sin(\delta)} a\left(\frac{P\phi}{\rho}\right)^n$$

де P - натяг нитки;

s - дугова координата;

F_{mp} - сила тертя, яка діє на нескінченно малий елемент нитки;

φ - кут охоплення ниткою напрямної поверхні;

f_{np} - приведений коефіцієнт тертя;

δ - радіальний кут охоплення нитки поверхнею напрямної;

N - питома нормальна реакція напрямної поверхні;

f - коефіцієнт тертя при відсутності радіального охоплення;

a, n - постійні коефіцієнти, для кожного виду нитки та напрямної.

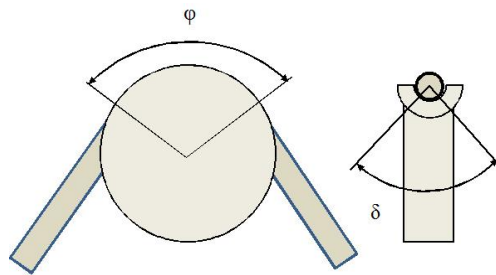


Рис.5.2. Загальна розрахункова схема

Дослідження, проведені в цьому напрямку, свідчать про те, що сила та коефіцієнт тертя нелінійно залежать від попереднього натягу, кута охоплення ниткою напрямної, діаметру циліндричної напрямної. На рис.5.3 представлені графічні залежності зміни коефіцієнта тертя f від попереднього натягу нитки P_0 (крива 1), кута охоплення ниткою напрямної φ (крива 2), діаметру циліндричної напрямної d (крива 3). Приведений коефіцієнт тертя при зміні діаметру нитки та внутрішнього радіусу трубчастого спрямовувача змінюється згідно залежностей, представлених на рис.5.3. Значення n знаходиться в межах $(2/3) \leq n \leq 1$. Коли $n = 0$, то з п'ятого рівняння системи (5.2) коефіцієнт тертя буде дорівнювати $f = a$.

В загальному вигляді залежність радіусу кривизни напрямної від дугової координати можна представити у вигляді ступеневого поліному. У разі постійного значення першої похідної дугової координати по куту охоплення радіус кривизни буде дорівнювати радіусу R циліндричної напрямної, що має місце у багатьох випадках в системах подачі нитки на трикотажних машинах.

$$\rho = \rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i, \quad \frac{ds}{d\varphi} = \text{const}, \quad \rho = R, \quad (5.3)$$

де ρ_0, b_i - деякі постійні.

З урахуванням системи рівнянь (5.3) представимо систему диференціальних рівнянь (5.2) у вигляді

$$\frac{dP}{ds} = \frac{P}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)} \frac{4 \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} a \left[\frac{P\varphi}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)} \right]^n. \quad (5.4)$$

Перетворимо диференціальне рівняння (5.4), з урахуванням другого рівняння системи (5.2)

$$\frac{dP}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right) d\varphi} = \frac{P^{n+1} \varphi^n}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)^{n+1}} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]}.$$

Або

$$\frac{dP}{P^{n+1}} = \frac{\varphi^n}{\left(\rho_0 + \sum_{i=1}^{n_l} b_i s^i\right)^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi.$$

У випадку постійного радіусу кривизни напрямної отримаємо

$$\frac{dP}{P^{n+1}} = \frac{\varphi^n}{R^n} \frac{4a \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi.$$

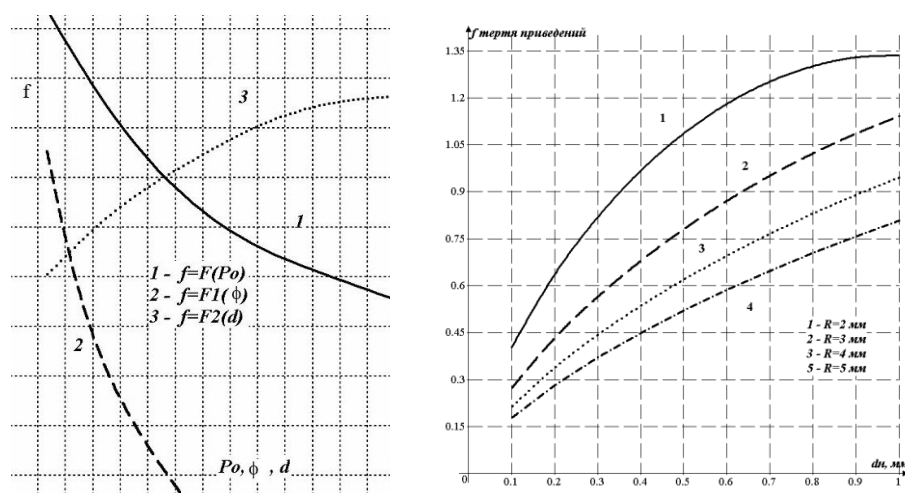


Рис.5.3. Графічні залежності коефіцієнту тертя та приведенного коефіцієнту тертя від натягу нитки, кута охоплення та діаметру напрямної

Проінтегруємо останнє диференційне рівняння

$$\int_{P_0}^P P^{-n-1} dP = \int_0^\varphi \frac{\varphi^n}{R^n} \frac{4a \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]} d\varphi.$$

Підставляємо верхнє та нижнє значення параметрів визначених інтегралів та отримуємо

$$P^{-n} = P_0^{-n} - \frac{\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}. \quad (5.5)$$

Перейдемо до аналізу рівняння (5.5). Пролагорифмуємо його ліву та праву частини

$$-n \ln(P) = \ln\left\{P_0^{-n} - \frac{n\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}\right\}.$$

Визначимо значення натягу ведучої гілки нитки для чого перейдемо в останньому рівнянні до границі при $n \rightarrow 0$

$$\lim_{n \rightarrow 0} \ln(P) = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{\ln\left\{P_0^{-n} - \frac{n\varphi^{n+1}}{R^n (n+1)} \frac{4a \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}\right\}}{-n}.$$

Використовуючи правило Лопіталя будемо мати

$$\ln(P) - \ln(P_0) = \frac{\varphi^{n+1}}{P_0^{-n} R^n} \frac{4a \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}. \quad (5.6)$$

Аналізуючи рівняння (5.6), при $n \rightarrow 0$, отримаємо остаточний результат. Остаточний вираз для визначення натягу ведучої гілки нитки буде мати вигляд

$$P = P_0 e^{\frac{\varphi^{n+1}}{P_0^{-n} R^n} \frac{4a \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}}. \quad (5.7)$$

Для випадку, коли коефіцієнт тертя є сталою величиною, враховуючи рівняння (5.2), при $n=0, f=a$, отримаємо з (5.7)

$$P = P_0 e^{f\varphi \frac{4 \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}}. \quad (5.8)$$

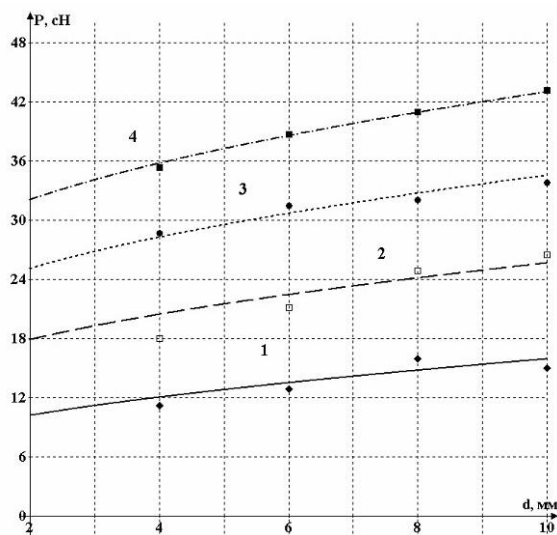


Рис.5.4. Залежність натягу поліамідної комплексної нитки 28 Т від радіусу кривини циліндричної напрямної

Тут необхідно вказати, що формула (5.8) відрізняється від формули, яка отримана в роботі [1, 4]. Спрощення формули обмежують її використання. При $\delta \rightarrow 0$ в формулі (5.8), отримуємо відому формулу Л.Ейлера

$$P = P_0 e^{f\varphi}.$$

На рис.5.4 представлені результати визначення натягу для поліамідної нитки 28 Т для $P_0=5, 10, 15, 20$ сН по формулі (5.2.6). При розрахунках $a=0,4$; $n=0,7$; $\varphi=3,14$. На цьому рисунку наведені також експериментальні дані. Порівняння теоретичних та експериментальних даних показало, що похибка не перевищує 2-4%. При розрахунку за формулою Л.Ейлера похибка перевищує 11%.

5.3. Ефективність роботи трубчатого компенсатора натягу в'язальних машин великого діаметру

На рис.5.5 представлені загальний вигляд трубчатого компенсатора натягу [8]. Нитка послідовно огинає направляючий ролик, поверхню трубчатого компенсатора з пружного матеріалу, направляючий ролик встановлений на рухомому опорі. Натяг нитки P_I після трубчатого компенсатора натягу визначаємо з рівняння

$$P_1 = P_0 e^{\mu_2 \alpha_1 \frac{4 \sin(\frac{\delta}{2})}{[\delta + \sin(\delta)]}}, \quad (5.9)$$

$$P_o = \sum_{i=1}^{n_1} (c_i \sin \omega_{i1} t + d_i \cos \omega_{i1} t), \quad (5.10)$$

де - μ_2 - коефіцієнт тертя між трубчатою поверхнею постійного радіусу кривизни та ниткою;

α_1 - кут охоплення ниткою трубчатої поверхні постійного радіусу кривизни;

c_i, d_i - амплітуди зміни i -ї гармоніки вхідного натягу;

δ - радіальний кут охоплення нитки поверхнею напівколою;

ω_{i1} - частота зміни вхідного натягу i_1 -ї гармоніки ;

n_1 - число гармонік для вхідного натягу;

t - час.

По результатам розрахунків за формулами (5.9)-(5.10), для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, були отримані значення нерівномірності натягу трубчатого компенсатора натягу, які представлені в таблиці 5.2 в залежності від швидкості руху нитки.

Аналіз даних таблиці 5.2 показує, що трубчатий компенсатор має нерівномірність натягу в межах 4-12%. Порівняння трубчатого компенсатора з шайбовим компенсатором та пальцьовим компенсатором (дивись розділ 3) показало, що він має нерівномірність натягу майже в вісім разів меншу ніж у них.

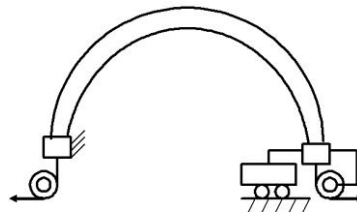


Рис.5.5. Трубчатий компенсатор натягу нитки

Це пояснюється тим, що в конструкціях шайбового та пальцьового компенсаторів присутні рухомі інерційні елементи, які при збільшенні швидкості руху нитки не встигають реагувати на зміни натягу.

Також в даних компенсаторах присутні ділянки, де відбувається контакт нитки з напрямними великої кривизни, а при цьому виникає додаткове зростання натягу завдяки зминанню.

Встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з компенсаторами натягу. Найбільшу нерівномірність натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для поліамідної комплексної нитки.

Таблиця 5.2

Результати визначення натягу для трубчатого компенсатора натягу нитки

Тип компенсатору	Вид нитки	Нерівномірність натягу нитки ($P_{max} - P_{min}$) / $P_{сер}$, %					
		Швидкість руху нитки, см/с					
		20	40	60	80	100	120
Трубчатий компенсатор	Поліамідна	4.62	5.21	6.30	6.90	7.43	8.77
	Бавовняна	7.91	8.12	8.53	9.31	10.44	11.58
	Вовняна	8.87	9.35	10.81	11.50	11.71	12.45

5.4. Використання рекурсивного підходу для визначення натягу нитки в робочій зоні круглов'язальних машин

Удосконалення технологічного обладнання повинно базуватися на проведенні комплексних теоретично-експериментальних досліджень умов праці окремих вузлів в процесі виконання технологічного процесу[1, 2]. Система подачі ниток відіграє в цьому процесі дуже важливе значення. Це пов'язано з тим, що недосконалість конструкції системи подачі нитки призводить до зростання її натягу і, як наслідок, виникнення обривів. Вирішення питання удосконалення

системи подачі ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру потрібно здійснювати у двох напрямках: удосконалення структурних та геометричних параметрів лінії заправки нитки та умов взаємодії нитки з конструктивними елементами, які входять в систему подачі нитки (спрямовувачі нитки циліндричної форми та у формі тору, пристрої для натягу нитки); оптимізація граничних умов процесу взаємодії нитки з структурними елементами системи подачі на вході та виході. Оптимізації підлягають такі параметри, як кути охоплення направляючих поверхонь, радіуси кривизни цих поверхонь. При проведенні цих досліджень за першим напрямом необхідно лінію заправки нитки в системі подачі розбивати на характерні ділянки, які включають в себе відповідні структурні елементи системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру. Для більшості круглов'язальних машин великого діаметру ці ділянки будуть мати подібний характер і відрізнятимуться тільки кількістю і видами структурних елементів[1, 2].

Система подачі ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру забезпечує необхідний натяг в робочій зоні. Вона включають в себе окремі вузли для переміщення та накопичування нитки, структурні елементи, які забезпечують побудову лінії заправки нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру та надання нитці відповідного натягу. В якості об'єктів дослідження виступають технологічні процеси трикотажної промисловості де здійснюється переробка ниток. Основними методами дослідження виступають теоретичні та експериментальні дослідження, які базуються на використанні текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання, методів теорії алгоритмів, аналітичної геометрії, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Удосконалення системи подачі ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру дозволяє мінімізувати їх натяг в робочій зоні, зменшити обриви, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції, що випускається.

Таким чином, постає задача на базі рекурсивного підходу розробити моделі для визначення натягу нитки перед робочою зоною круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням її реальних фізико – механічних властивостей, структури та умов переробки на технологічному обладнанні.

Загальна схема системи подачі нитки на технологічній машині представлена на рис.5.6. Кількість структурних елементів в системі подачі нитки технологічної машини $j = 1..n_1$. Кількість ділянок між конструктивними елементами $i = n_1 + 1$. Структурні елементи системи подачі нитки поділяються на елементи зі змінними параметрами v_j (пристрої для натягу нитки, елементи компенсаторів натягу та ін.) та на елементи в яких параметри залишаються постійними (спрямовувачі нитки циліндричної форми та у формі тору та ін.).

Виходячи з рекурсивного підходу для визначення натягу нитки в робочій зоні вихідна система рівнянь буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
 P_1 &= f_1(z_0, P_0), \\
 P_2 &= f_2(z_0, z_1, P_0, P_1), \\
 &\dots\dots\dots, \\
 P_{i-1} &= f_{i-1}(z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, P_0, P_1, \dots, P_{i-1}), \\
 P_i &= f_i(z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, z_i, P_0, P_1, \dots, P_{i-1}, P_i), \\
 P_{i+1} &= f_{i+1}(z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, z_i, z_{i+1}, P_0, P_1, \dots, P_{i-1}, P_i, P_{i+1})
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

де $z_0, z_1, \dots, z_{i-1}, z_i, z_{i+1}$ - параметри, для відповідного конструктивного елемента системи подачі нитки.

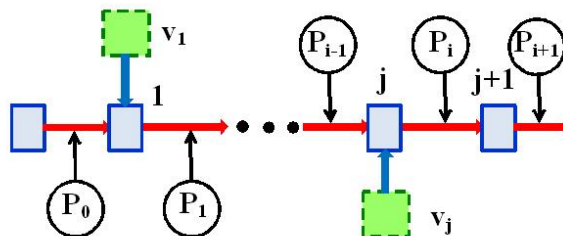


Рис.5.6. Структурна схема системи подачі нитки на технологічному обладнанні

На рис.5.7 представлена структурна схема круглов'язальної машини великого діаметру.

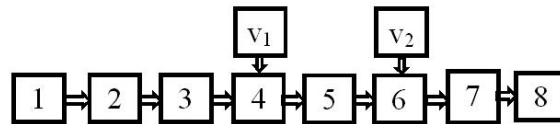


Рис.5.7. Структурна схема круглов'язальної машини великого діаметру

Для круглов'язальної машини (на прикладі машини МС-9) нитка від бобіни проходить крізь кільцевий спрямовувач 1, контролер обриву нитки 2, кільцевий спрямовувач 3 та потрапляє до вхідного отвору 4 на поверхні рухомої рейки механізму розкладання нитки. Далі огинаючи циліндричний транспортуючий барабан 5 поступає до вихідного отвору 6 на поверхні рухомої рейки механізму розкладання нитки. Далі через контролер обриву нитки 7 потрапляє до вхідного отвору 8 водія нитки. Змінними параметрами v_1 та v_2 тут виступає кут охоплення ниткою вхідного та вихідного отвору рухомої рейки механізму розкладання нитки.

Недосконалість структурних елементів системи подачі на круглов'язальних машинах великого діаметру призводить до виникнення стрибкоподібного збільшення натягу в зонах контакту з нерівномірною за діаметром ниткою, а це, в свою чергу, призводить до обриву. Крім того, сама форма лінії заправки нитки на трикотажному обладнанні впливає на збільшення натягу від точки входу до зони в'язання. Це обумовлено збільшенням сумарного кута охоплення ниткою напрямних поверхонь.

Виходячи з цього, виникає питання про оптимізацію форми лінії заправки на основі мінімізації натягу перед зоною в'язання з урахуванням таких реальних фізико-механічних властивостей нитки, як жорсткість на згин, зминання в зоні контакту. Необхідно враховувати особливості взаємодії нитки з структурними елементами системи подачі круглов'язальних машин великого діаметру, такими як радіальне охоплення в зоні контакту з напрямною, кути охоплення структурних елементів системи подачі в точках входу та виходу. При вирішенні цього складного питання, враховуючи його багато критеріальність, необхідно

буде розробити спеціальні алгоритми і відповідне програмне забезпечення для ЕОМ.

Об'єктом дослідження в роботі виступав технологічний процес в'язання трикотажного полотна. Предметом дослідження були системи подачі ниток на круглов'язальних машинах великого діаметру. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології трикотажного виробництва, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи інтегрального та диференційного числення, теоретичної механіки, теорії механізмів та машин, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах та в умовах функціонування реального текстильного виробництва.

При розробці програмного забезпечення використовувалися сучасні мови об'єктне – орієнтованого програмування.

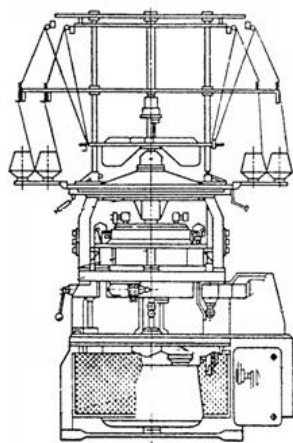
На рис.5.8а представлений загальний вигляд круглов'язальної машини великого діаметру КЛК – 10, яка призначена для в'язання купонних верхніх виробів.

На рис.5.8б представлена форма лінії заправки ниток круглов'язальної машини великого діаметру Мауер, яка може бути однофонтурна чи двофонтурна і включати в свою конструкцію до 114 транспортуючих нитку фідерів.

Вона призначена для виготовлення трикотажних жакардових полотен, покриваючих тканин.

Лінію заправки нитки круглов'язальної машини великого діаметру КЛК – 10 можна умовно розбити на 9 структурних ділянок: 1 структурна ділянка – від бобіни до вхідного отвору у формі тора I торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки; 2 структурна ділянка - від вхідного отвору у формі тора I торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки до циліндричної поверхні пальцевого натягувача II; 3 структурна ділянка – від циліндричної поверхні пальцевого натягувача II до вихідного отвору у формі тора III торцевого

кронштейну пальцевого натягувача нитки; 4 структурна ділянка – від вихідного отвору у формі тора III торцевого кронштейну пальцевого натягувача нитки до вхідного отвору у формі тора контролера обриву нитки IV; 5 структурна ділянка – від вхідного отвору у формі тора контролера обриву нитки IV до вихідного отвору у формі тора контролера обриву нитки V; 6 структурна ділянка – від вихідного отвору у формі тора контролера обриву нитки V до спрямовувача нитки у формі тора VI; 7 структурна ділянка – від спрямовувача нитки у формі тора VI до спрямовувача нитки у формі тора VII; 8 структурна ділянка – від спрямовувача нитки у формі тора VII до вхідного отвору водія нитки VIII; 9 структурна ділянка – від вхідного отвору водія нитки VIII до зони в'язання круглов'язальної машини великого діаметру КЛК – 10.



а.



б.

Рис.5.8. Форма лінії заправки ниток круглов'язальної машини КЛК – 10 та Mayer

Лінію заправки нитки круглов'язальної машини великого діаметру Mayer можна умовно розбити на 12 структурних ділянок: 1 структурна ділянка – від бобіни до вхідного отвору у формі тора I фідера; 2 структурна ділянка – від вхідного отвору у формі тора I фідера до перехідного коліна фідера у формі тора II; 3 структурна ділянка – від перехідного коліна фідера у формі тора II до перехідного коліна фідера у формі тора III; 4 структурна ділянка – від перехідного коліна фідера у формі тора III до шайбового натягувача нитки IV; 5 структурна ділянка – від шайбового натягувача нитки IV до вхідного отвору у

формі тора V спрямовувача нитки; 6 структурна ділянка – від вхідного отвору у формі тора V спрямовувача нитки до вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу; 7 структурна ділянка – від вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу до вхідного отвору у формі тора VII спрямовувача нитки; 8 структурна ділянка – від вхідного отвору у формі тора VII спрямовувача нитки до вхідного отвору у формі тора VIII спрямовувача нитки; 9 структурна ділянка – від вхідного отвору у формі тора VIII спрямовувача нитки до вхідного отвору IX контролера обриву нитки; 10 структурна ділянка – від вхідного отвору у формі тора IX контролера обриву нитки до вихідного отвору у формі тора X контролера обриву нитки; 11 структурна ділянка – від вихідного отвору у формі тора X контролера обриву нитки до вхідного отвору XI водія нитки; 12 структурна ділянка – від вхідного отвору XI водія нитки до зони в'язання круглов'язальної машини великого діаметру Mayer.

Визначимо зміну натягу по зонах заправки для круглов'язальних машин великого діаметру КЛК – 10 та Mayer. Натяг нитки на структурній ділянці 1 відповідає натягу, який має нитка при сході з бобіни. Ця величина має змінний характер і залежить від багатьох факторів. При розрахунках приймали $P_1 = 5$ сН.

Використовуючи рекурсивний підхід будемо визначати значення натягу після кожного структурного елементу в системі подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру. Для автоматизації процесу розрахунку виділяємо однотипні структурні елементи. До них відносяться направляючі елементи у формі тора. Інтегровані структурні елементи, такі як контролер обриву нитки, пальцьові та шайбові пристрої для натягу, включають в себе декілька елементів. Пальцьовий пристрій включає вхідний та вихідний отвори у формі тора та циліндричну напрямну. Контролер обриву нитки включає вхідний та вихідний отвори у формі тора та циліндричну напрямну датчика обриву на коромислі. Шайбовий пристрій для натягу включає дві рухомі шайби та циліндричну напрямну. Для інтегрованих структурних елементів натяг визначаємо послідовно по ходу руху нитки.

При визначенні натягу після структурного направляючого елементу у формі тора використовуємо методику, яка викладена в другому розділі. Розв'язання системи трансцендентних рівнянь здійснювали за допомогою чисельних методів з використанням спеціально розробленого програмного забезпечення (додаток Б).

Такий вид взаємодії нитки з структурними елементами круглов'язальної машини великого діаметру КЛК – 10 буде на 6 - 9 структурних ділянках. Для круглов'язальної машини великого діаметру Mayer такий вид взаємодії нитки з структурними елементами буде на 6, 8, 11, 12 структурних ділянках. В даному випадку система трансцендентних рівнянь має вигляд (5.12).

Для структурних ділянок 2-4, для круглов'язальної машини великого діаметру Mayer, де має місце взаємодія нитки з фідерними направляючими, для визначення натягу нитки використовуємо отриману залежність (розділ 2). В цьому випадку, коли радіус кривизни значно більший ніж діаметр нитки, коефіцієнтом жорсткості на згин та зминанням в зоні контакту можна знехтувати.

$$P_{(i+1)} = P_{(i)} \left[1 + \frac{(R_{(j)} + r)}{[R_{(j)} + r(1 - \delta_{01(j)})]} \left(e^{\frac{4\sin(\frac{\delta_{(j)})}{2} \frac{a}{\delta_{(j)} + \sin(\delta_{(j)})} b^{\phi_{(j)}}} - 1 \right) \right] +$$

$$+ \frac{B_0}{2[R_{(j)} + r(1 - \delta_{1(j)})]^2} - \frac{B_0}{2[R_{(j)} + r(1 - \delta_{01(j)})]^2} \times$$

$$\times \left[1 + \frac{(R_{(j)} + r)}{[R_{(j)} + r(1 - \delta_{01(j)})]} \left(e^{\frac{4\sin(\frac{\delta_{(j)})}{2} \frac{a}{\delta_{(j)} + \sin(\delta_{(j)})} b^{\phi_{(j)}}} - 1 \right) \right]$$

$$(5.12)$$

$$\varphi_{(j)} = \varphi_{P(j)} + \varphi_{cm1(j)} + \varphi_{cm2(j)} - \varphi_{уж1(j)} - \varphi_{уж2(j)},$$

$$\phi_{cm1(j)} = \arccos \left[1 - \delta_{01(j)} \left(\frac{2r}{R_{(j)}} \right)^2 \right], \quad \phi_{cm2(j)} = \arccos \left[1 - \delta_{1(j)} \left(\frac{2r}{R_{(j)}} \right)^2 \right],$$

$$\phi_{уж1(j)} = \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_{(i)}(R_{(j)} + r)^2} \right], \quad \phi_{уж2(j)} = \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_{(i+1)}(R_{(j)} + r)^2} \right]$$

де $P_{(i+1)}$ – натяг нитки після j конструктивного елементу трикотажної машини;

$P_{(i)}$ – натяг нитки до j конструктивного елементу машини;

$R_{(j)}$ – радіус кривизни поверхні j конструктивного елемента трикотажної машини;

$\delta_{01(j)}$ – початкова деформація перетину нитки при набіганні на j конструктивний елемент трикотажної машини;

$\delta_{1(j)}$ – кінцева деформація перетину нитки при збіганні з j конструктивного елемента трикотажної машини;

$\delta_{(j)}$ – кут радіального охоплення нитки поверхнею j конструктивного елемента трикотажної машини;

$\varphi_{(j)}$ – реальний кут охоплення ниткою j конструктивного елемента трикотажної машини.

Натяг нитки на структурних ділянках 2-4, після пальцевого натягувача трикотажної машини КЛК – 10, визначаємо за формулою

$$P_{(i+1)} = P_{(i)} \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{\mu_3 \gamma_{1(j)}}) \right] e^{2\pi k_{(j)} \mu_4 \sin \varphi_{(j)}} \times \\ \times \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{\mu_3 \gamma_{2(j)}}) \right], \quad (5.13)$$

де $P_{(i)}$ – натяг нитки перед циліндричною поверхнею пальцевого натягувача;

$P_{(i+1)}$ – натяг нитки після циліндричної поверхні пальцевого натягувача;

$k_{(j)}$ – кількість повних обертів нитки навколо циліндричної поверхні пальцевого натягувача;

$\varphi_{(j)}$ – кут нахилу нитки до осі пальцевого натягувача.

Натяг нитки на 5 структурній ділянці, після проходження шайбового натягувача IV трикотажної машини Mayer, визначаємо за формулою

$$P_{(i+1)} = P_{(i)} \left[1 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{2\mu_2 \alpha_{(j)}}) \right] + \\ + \frac{\mu_1 c(\lambda_{(j)} + d_n) \left[2 - \frac{r + r_n}{r} (1 - e^{2\mu_2 \alpha_{(j)}}) \right]}{1 + \sin(\alpha_{(j)} - \beta)}, \quad (5.14)$$

де $P_{(i+1)}$ – натяг нитки після шайбового натягувача;

$P_{(i)}$ – натяг нитки до шайбового натягувача;

μ_1 – коефіцієнт тертя між ниткою та поверхнею шайб;

μ_2 – коефіцієнт тертя між ниткою та циліндричною поверхнею стрижня, на який одягнені шайби;

r – радіус стрижня;

$d_H = 2r_H$ - розрахунковий діаметр нитки;

R – радіус контактного кола;

$\alpha_{(j)}$ – кут охоплення ниткою стрижня.

Використовуючи залежності (5.12) та (5.13), з урахуванням (5.11), була отримана діаграма зміни відносного натягу нитки для круглов'язальної машини великого діаметру КЛК – 10 по зонах заправки, яка представлена на рис.5.9а. Для круглов'язальних машин великого діаметру КЛК-10 максимальне значення відносного натягу безпосередньо перед робочою зоною складає: 3,61- для поліамідної комплексної нитки 28 текс; 3,08 – для бавовняної пряжі 27,6 текс; 3,41 - для вовняної пряжі 29,9 текс. Виходячи з цього можна стверджувати, що не виключається можливість обриву на ділянці між 1 та 9 структурними зонами, як це видно з рис.5.9а. Все це характерно для пасивної подачі нитки на круглов'язальній машині великого діаметру КЛК – 10.

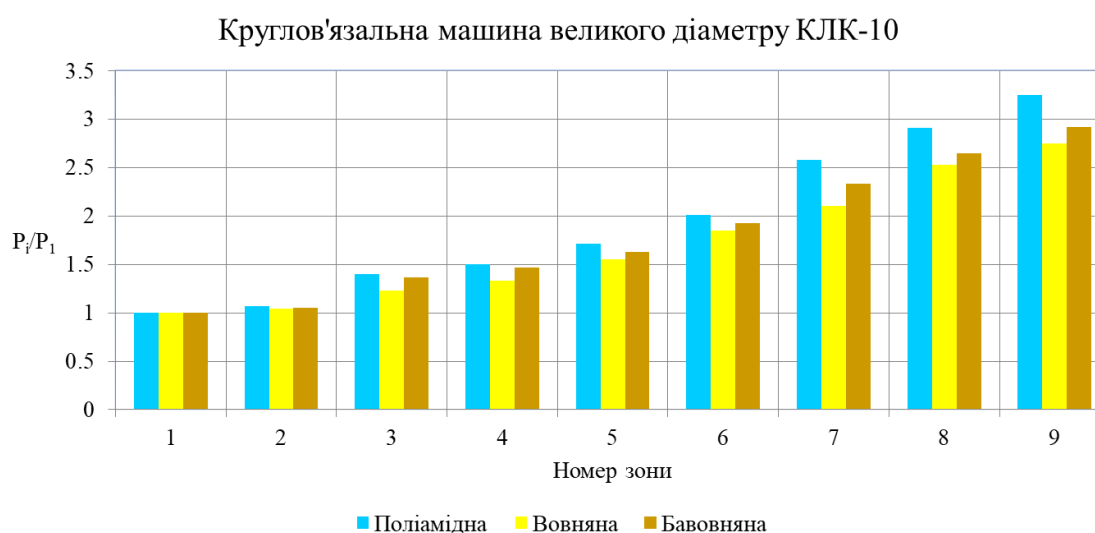
Удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальній машині великого діаметру КЛК – 10 здійснювалося за рахунок використання на структурних ділянках 2-4 модернізованого пальцевого пристрою для натягу та оптимізації геометричних розмірів структурних елементів у формі тора. Це дозволило знизити нерівномірність натягу для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс на 11-14% на круглов'язальній машині великого діаметру КЛК-10 (рис.5.9б). Аналіз результатів по визначенню зміни відносного натягу нитки по зонах показав, що тенденція зберігається як і у випадку до удосконалення.

Використовуючи залежності (5.12) та (5.13), з урахуванням (5.11), була отримана діаграма зміни відносного натягу нитки для круглов'язальної машини великого діаметру Мауер по зонах заправки, яка представлена на рис.5.10а.

Для круглов'язальних машин великого діаметру Мауер максимальне значення відносного натягу безпосередньо перед робочою зоною складає: 3,75- для поліамідної комплексної нитки 28 текс; 3,38 – для бавовняна пряжа 27,6 текс; 3,51 - для вовняна пряжа 29,9 текс.



а.



б.

Рис.5.9. Діаграма зміни відносного натягу нитки по зонах заправки круглов'язальної машини великого діаметру КЛК – 10

Аналіз діаграми показав, що до вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу натяг зростає за рахунок взаємодії нитки з поверхнями фідерів та конструктивних елементів системи заправки. Після проходження вертикального накопичувача нитки VI барабанного типу круглов'язальної машини великого діаметру Mayer натяг починає знову зростати і досягає свого максимуму в зоні в'язання. Виходячи з цього можна стверджувати, що накопичувач нитки VI круглов'язальної машини Mayer, виконуючи свою функцію по зменшенню натягу, не виключає можливості обриву на ділянці між 1 та 6 структурними зонами.

Удосконалення системи подачі нитки на круглов'язальній машині великого діаметру Mayer здійснювалося за рахунок використання на структурних ділянках 2-4 трубчатих компенсаторів натягу, на структурній ділянці 5 модернізованого пальцевого пристрою для натягу та оптимізації геометричних розмірів структурних елементів у формі тора.

Це дозволило знизити нерівномірність натягу для поліамідної комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс на 8-9% на круглов'язальній машині великого діаметру Mayer та отримати технологічний ефект: знизити обривність на 4-12% та підвищити показники якості трикотажних полотен на 10-15% за рахунок зменшення вирізки дефектних ділянок та стабілізації петельної форми (рис.5.10б).

Висновки по розділу 5

1. Розроблена нова конструкція, патент 117289 UA, структурного елемента системи подачі ниток круглов'язальних машин великого діаметру у вигляді модернізованого пальцевого пристрою для натягу, для якої отримані залежності для визначення вихідного натягу з урахуванням нерівномірності по діаметру та реальних фізико – механічних властивостей нитки, що дозволило забезпечити стабілізацію натягу.
2. Отримані залежності натягу нитки при її взаємодії з направляючою поверхнею трубчастого спрямовувача нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою з урахуванням нелінійного характеру залежності

приведеного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної.



а.



б.

Рис.5.10. Діаграма зміни відносного натягу нитки по зонах заправки круглов'язальної машини великого діаметру Mayer

3. Розроблена нова конструкція, патент 117290 UA, структурного елемента системи подачі ниток круглов'язальних машин великого діаметру у вигляді трубчатого компенсатора натягу, для якого проведений розрахунок вихідного натягу з урахуванням змінного закону вхідного натягу, радіального охоплення нитки поверхнею трубчатого компенсатора натягу.

4. На основі аналізу структурних схем системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру та геометричних параметрів структурних елементів у

вигляді спрямовувачів циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу, з використанням рекурсивного підходу, розроблені моделі та побудовані діаграми зміни відносного натягу по зонах заправки нитки для круглов'язальних машин великого діаметру КЛК-10 та Mayer з урахуванням реальних фізико – механічних властивостей сировини та умов взаємодії з структурними елементами системи подачі нитки. Для круглов'язальних машин великого діаметру КЛК-10 максимальне значення відносного натягу безпосередньо перед робочою зоною складає: 3,61- для поліамідної комплексної нитки 28 текс; 3,08 – для бавовняна пряжа 27,6 текс; 3,41 - для вовняна пряжа 29,9 текс. Для круглов'язальних машин великого діаметру Mayer максимальне значення відносного натягу перед механізмом активної подачі нитки складає: 3,75- для поліамідної комплексної нитки 28 текс; 3,38 – для бавовняна пряжа 27,6 текс; 3,51 - для вовняна пряжа 29,9 текс.

5. З використанням рекурсивного підходу, розроблені моделі та побудовані діаграми зміни відносного натягу по зонах заправки нитки для круглов'язальних машин великого діаметру КЛК-10 та Mayer після удосконалення структурних схем системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру та конструкції та геометричних параметрів структурних елементів у вигляді спрямовувачів циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу. Це дозволило знизити нерівномірність натягу, для бавовняної пряжі 27,6 текс, на 8-9% на круглов'язальній машині великого діаметру Mayer, на 11-14% на круглов'язальній машині великого діаметру КЛК-10 та отримати технологічний ефект: знизити обривність на 4-12% та підвищити показники якості трикотажних полотен на 10-15% за рахунок зменшення вирізки дефектних ділянок та стабілізації петельної форми.

Список використаних джерел до розділу 5

1. Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для визначення натягу ниток в робочій зоні технологічного обладнання/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 3(261). - С.7-11.

2. Щербань В.Ю. Удосконалення системи подачі ниток на основі оптимізації пружної системи заправки круглов'язальних машин/В.Ю.Щербань, Г.В. Мельник, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько //Вісник ХНУ.- 2018.-№ 4 (263). - С.11-16.
3. Щербань В.Ю., Андрущенко В.В., Кириченко А.М. Алгоритмічні та програмні компоненти САПР пристрою на основі механізму Уата та його застосування в машинах легкої промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Сбірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:КНУТД. - 2016. - С.19-22.
4. Щербань В.Ю., Довгопол О.М., Кириченко А.М. Алгоритмічні та програмні компоненти САПР пристрою на основі механізму Еванса та його застосування в машинах легкої промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Сбірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:КНУТД. - 2016. – С.24-27.
5. Кириченко А.М. Використання рекурсивного підходу для розрахунку натягу ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2019. – С.15-18.
6. Кириченко А.М. Математичне забезпечення при реалізації процесу стабілізації натягу / Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2020. – С.11-14.
7. Кириченко А.М. Визначення натягу ниток на технологічному обладнанні з використання рекурсивного підходу/ Мехатронні системи: інновації та

інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 10 жовтня 2019р.-К.:КНУТД, 2019. - С.55-57.

8. Патент 117290 UA, МКИ D05B 47/00/ Компенсатор натягу/ Щербань В.Ю., Мурза Н.І.,Кириченко А.М., Колиско О.З., Шолудько М.І. (UA). – №u 2016 13188; заявл.23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл.№ 12.

9. Патент 117289 UA, МКИ D05B 47/00/ Нитконатягувач/ Щербань В.Ю., Мурза Н.І.,Кириченко А.М., Колиско О.З., Шолудько М.І. (UA). – №u 2016 13187; заявл.23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл.№ 12.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальне науково–технічне завдання, що полягає у існуючих методів та засобів дослідження умов переробки ниток на круглов’язальних машинах великого діаметру при виготовленні трикотажних полотен для одягу з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей сировини, особливостями геометричної форми пружної системи заправки ниток та конструкції її окремих структурних елементів.

1. Проведений аналіз досліджень у сфері удосконалення системи подачі нитки на круглов’язальних машинах з урахуванням конструктивних особливостей її структурних елементів та змінного вхідного натягу і реальних фізико-механічних властивостей ниток, що переробляються дозволив сформулювати мету та завдання дослідження.

2. На основі визначених геометричних параметрів точок на осі нитки, швидкостей та прискорень отримана система диференційних рівнянь, що описує динаміку руху нитки жорсткої на вигин та кручення по направляючій поверхні великої кривизни у формі тора з урахуванням деформації в зоні контакту, змінного вхідного натягу та діаметру перетину при радіальному охопленні нитки поверхнею напрямної, що дозволило визначити натяг нитки в процесі її взаємодії з структурними елементами системи подачі нитки круглов’язальних машинах великого діаметру. Розроблені алгоритм та комп’ютерна програма для визначення значення натягу при взаємодії нитки з напрямними у формі тора системи подачі круглов’язальних машин на основі чисельної реалізації алгоритму половинного розділення відрізка при розв’язанні трансцендентних рівнянь.

3. В результаті проведеного дослідження розроблені математичні моделі для визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії нитки з кільцевими та трубчастими спрямовувачами нитки трикотажних машин з урахуванням їх реальних фізико – механічних властивостей, структури та умов переробки на технологічному обладнанні, що дозволило визначити натяг нитки в умовах наближених до реальних умов виробництва. Розроблений алгоритм методу

половинного розділення відрізка при розв'язанні трансцендентних рівнянь та програмне забезпечення для визначення висоти сегменту заповненого матеріалом нитки, радіального кута охопту поверхні нитки напрямною поверхнею та приведенного коефіцієнту тертя

4. На основі проведеного аналізу роботи структурних елементів системи подачі ниток круглов'язальних машин у вигляді шайбового та пальцевого пристроїв для натягу, шайбового та пальцевого компенсаторів натягу, компенсатора з кільцями отримані залежності для визначення вихідного натягу з реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, її нерівномірності по діаметру поперечного перетину та умови змінного значення вхідного натягу, що дозволило встановити шляхи їх модернізації для забезпечення стабілізації натягу.

5. Сконструйовано електронну тензометричну установку, проведений вибір сировини, визначені фактори, які впливають на натяг комплексних ниток та пряжі при їх переробці на круглов'язальних машинах великого діаметру, розроблені плани проведення експериментальних досліджень, що дозволило отримати регресійні залежності натягу комплексних ниток та пряжі після направляючих елементів в залежності від натягу веденої гілки до направляючої, радіусу направляючої циліндричної форми та у формі тора, кута охоплення ниткою направляючої у формі тора.

6. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблені нові конструкції модернізованого пальцевого пристрою для натягу (патент 117289 UA), трубчатого компенсатора натягу (патент 117290 UA), для яких отримані залежності натягу нитки з урахуванням радіального кута охоплення поверхні нитки направляючою з урахуванням нелінійного характеру залежності приведенного коефіцієнту тертя від площі контакту, питомого нормального тиску на дузі охоплення напрямної, що дозволило удосконалити систему подачі нитки на круглов'язальних машинах великого діаметру на основі стабілізації натягу.

7. З використанням рекурсивного підходу на основі аналізу структурних схем системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру та

геометричних параметрів структурних елементів у вигляді спрямовувачів циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу отримані системи рівнянь для визначення поточного натягу, що дозволило та побудувати діаграми зміни відносного натягу по зонах заправки нитки для круглов'язальних машин великого діаметру з урахуванням реальних фізико – механічних властивостей сировини та умов взаємодії з структурними елементами системи подачі нитки.

8. Удосконалені структурні схеми системи подачі нитки на основі модернізації конструкції структурних елементів у вигляді спрямовувачів циліндричної форми та у формі тора, пристроїв для натягу та компенсаторів круглов'язальних машин великого діаметру КЛК-10 та Mayer, що дозволило знизити нерівномірність натягу, для бавовняної пряжі 27,6 текс, на 8-9% на круглов'язальній машині великого діаметру Mayer, на 11-14% на круглов'язальній машині великого діаметру КЛК-10 та отримати технологічний ефект: знизити обривність на 4-12% та підвищити показники якості трикотажних полотен на 10-15% за рахунок зменшення вирізки дефектних ділянок та стабілізації петельної форми. Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів науково-дослідної роботи за рахунок зниження обривності та підвищення якості трикотажних полотен по ДП “Датський текстиль” складає 192 тис. грн. на рік. Окремі положення, висновки та рекомендації, представлені в дисертаційному дослідженні, знайшли практичне застосування в освітньому процесі Київського національного університету технологій та дизайну.

Додаток А

А1

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 8^\circ$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=5$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=10$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=15$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	8.6	7.54	8.19	17.29	15.1	16.84	26.24	22.79	25.8
2.41	8.59	7.53	8.2	17.07	15	16.68	25.68	22.51	25.35
2.81	8.6	7.54	8.22	16.97	14.95	16.6	25.38	22.37	25.11
3.21	8.62	7.55	8.24	16.93	14.93	16.57	25.22	22.29	24.97
3.61	8.65	7.57	8.26	16.92	14.93	16.55	25.14	22.26	24.88
4.01	8.69	7.59	8.29	16.93	14.94	16.55	25.1	22.24	24.83
4.41	8.72	7.6	8.31	16.96	14.95	16.56	25.09	22.24	24.81
4.81	8.76	7.62	8.33	16.99	14.97	16.58	25.11	22.25	24.8
5.21	8.79	7.64	8.35	17.03	14.99	16.59	25.13	22.27	24.8
5.61	8.82	7.66	8.38	17.07	15.01	16.61	25.17	22.29	24.81
6.01	8.86	7.67	8.39	17.11	15.04	16.63	25.21	22.31	24.82
6.41	8.89	7.69	8.41	17.16	15.06	16.65	25.26	22.34	24.84
6.81	8.92	7.7	8.43	17.2	15.08	16.67	25.3	22.36	24.86
7.21	8.95	7.72	8.45	17.24	15.1	16.7	25.35	22.39	24.88
7.61	8.98	7.73	8.46	17.29	15.13	16.72	25.4	22.41	24.9
8.01	9.01	7.75	8.48	17.33	15.15	16.74	25.45	22.44	24.92
8.41	9.04	7.76	8.49	17.37	15.17	16.76	25.5	22.47	24.94
8.81	9.07	7.78	8.51	17.41	15.19	16.78	25.56	22.5	24.96
9.21	9.09	7.79	8.52	17.45	15.21	16.8	25.61	22.52	24.99
9.61	9.12	7.8	8.53	17.49	15.23	16.82	25.66	22.55	25.01
10.01	9.14	7.81	8.55	17.53	15.25	16.83	25.71	22.57	25.03
10.41	9.17	7.83	8.56	17.57	15.27	16.85	25.76	22.6	25.05
10.81	9.19	7.84	8.57	17.61	15.29	16.87	25.8	22.63	25.08
11.21	9.22	7.85	8.58	17.65	15.31	16.89	25.85	22.65	25.1
11.61	9.24	7.86	8.59	17.68	15.33	16.91	25.9	22.67	25.12

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 8^{\circ}$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=20$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=25$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=30$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	35.53	30.62	35.07	45.19	38.62	44.69	55.3	46.8	54.66
2.41	34.46	30.11	34.22	43.46	37.8	43.3	52.69	45.6	52.59
2.81	33.88	29.83	33.74	42.51	37.35	42.51	51.28	44.93	51.42
3.21	33.55	29.67	33.45	41.95	37.08	42.03	50.44	44.53	50.7
3.61	33.36	29.58	33.27	41.61	36.92	41.71	49.92	44.28	50.23
4.01	33.25	29.53	33.15	41.41	36.82	41.51	49.59	44.12	49.91
4.41	33.19	29.51	33.07	41.28	36.77	41.37	49.38	44.03	49.69
4.81	33.17	29.5	33.03	41.21	36.74	41.27	49.25	43.97	49.54
5.21	33.17	29.51	33.00	41.18	36.73	41.21	49.18	43.93	49.44
5.61	33.19	29.52	32.99	41.18	36.73	41.18	49.14	43.92	49.37
6.01	33.23	29.54	32.99	41.19	36.74	41.15	49.13	43.92	49.32
6.41	33.27	29.56	33.00	41.22	36.76	41.14	49.14	43.93	49.29
6.81	33.31	29.59	33.01	41.26	36.78	41.14	49.17	43.95	49.27
7.21	33.36	29.62	33.02	41.31	36.81	41.15	49.21	43.98	49.26
7.61	33.41	29.65	33.04	41.36	36.84	41.16	49.25	44.0	49.27
8.01	33.47	29.68	33.06	41.41	36.87	41.17	49.31	44.03	49.27
8.41	33.53	29.71	33.08	41.47	36.9	41.19	49.37	44.07	49.29
8.81	33.58	29.74	33.1	41.53	36.93	41.21	49.43	44.1	49.3
9.21	33.64	29.77	33.13	41.59	36.97	41.24	49.49	44.14	49.32
9.61	33.7	29.8	33.15	41.66	37.0	41.26	49.56	44.17	49.34
10.01	33.76	29.83	33.17	41.72	37.04	41.28	49.62	44.21	49.37
10.41	33.81	29.86	33.2	41.78	37.07	41.31	49.69	44.25	49.39
10.81	33.87	29.89	33.22	41.85	37.1	41.34	49.76	44.28	49.42
11.21	33.93	29.92	33.25	41.91	37.14	41.36	49.83	44.32	49.45
11.61	33.98	29.95	33.27	41.97	37.17	41.39	49.9	44.36	49.47
12.01	34.04	29.98	33.3	42.04	37.21	41.42	49.97	44.39	49.5

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 8^\circ$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=35$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=40$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=45$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	65.91	55.17	65.01	77.1	63.77	75.79	88.94	72.59	87.02
2.41	62.19	53.51	62.12	71.98	61.53	71.88	82.1	69.69	81.89
2.81	60.2	52.58	60.48	69.3	60.3	69.7	78.58	68.1	79.07
3.21	59.03	52.02	59.48	67.72	59.56	68.36	76.54	67.15	77.35
3.61	58.29	51.67	58.82	66.73	59.09	67.48	75.25	66.54	76.23
4.01	57.81	51.44	58.37	66.08	58.77	66.89	74.4	66.13	75.46
4.41	57.5	51.29	58.06	65.65	58.57	66.47	73.83	65.86	74.92
4.81	57.3	51.2	57.84	65.36	58.43	66.16	73.44	65.67	74.52
5.21	57.17	51.14	57.68	65.17	58.34	65.95	73.17	65.55	74.23
5.61	57.09	51.11	57.57	65.04	58.29	65.79	72.99	65.47	74.02
6.01	57.05	51.09	57.49	64.97	58.26	65.67	72.88	65.42	73.86
6.41	57.04	51.09	57.43	64.93	58.24	65.59	72.81	65.39	73.75
6.81	57.05	51.1	57.4	64.92	58.25	65.53	72.77	65.38	73.66
7.21	57.08	51.12	57.38	64.93	58.26	65.49	72.76	65.38	73.6
7.61	57.12	51.15	57.37	64.96	58.28	65.46	72.78	65.39	73.55
8.01	57.17	51.18	57.36	64.99	58.3	65.45	72.8	65.41	73.53
8.41	57.22	51.21	57.37	65.04	58.33	65.44	72.84	65.44	73.51
8.81	57.28	51.24	57.38	65.1	58.36	65.44	72.89	65.47	73.5
9.21	57.34	51.28	57.39	65.16	58.4	65.45	72.95	65.51	73.5
9.61	57.41	51.32	57.41	65.23	58.44	65.47	73.02	65.54	73.51
10.01	57.48	51.35	57.43	65.3	58.48	65.48	73.09	65.58	73.52
10.41	57.55	51.39	57.46	65.37	58.52	65.51	73.16	65.63	73.54
10.81	57.62	51.43	57.48	65.44	58.56	65.53	73.23	65.67	73.56
11.21	57.7	51.47	57.51	65.52	58.6	65.55	73.31	65.71	73.59
11.61	57.77	51.51	57.54	65.6	58.65	65.58	73.39	65.76	73.61
12.01	57.84	51.55	57.56	65.68	58.69	65.61	73.47	65.8	73.64

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 28^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=5$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=10$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=15$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	8.78	7.65	8.34	17.64	15.34	17.17	26.79	23.14	26.32
2.41	8.76	7.65	8.35	17.41	15.23	17.00	26.19	22.86	25.85
2.81	8.77	7.66	8.37	17.31	15.17	16.92	25.88	22.71	25.59
3.21	8.80	7.67	8.40	17.26	15.16	16.88	25.71	22.63	25.44
3.61	8.83	7.69	8.42	17.26	15.16	16.87	25.62	22.59	25.36
4.01	8.87	7.7	8.45	17.27	15.16	16.87	25.59	22.57	25.31
4.41	8.90	7.72	8.47	17.3	15.18	16.88	25.58	22.57	25.28
4.81	8.94	7.74	8.49	17.33	15.2	16.89	25.59	22.58	25.27
5.21	8.98	7.76	8.52	17.37	15.22	16.91	25.62	22.6	25.27
5.61	9.01	7.78	8.54	17.42	15.24	16.93	25.66	22.62	25.28
6.01	9.05	7.8	8.56	17.46	15.27	16.95	25.7	22.65	25.29
6.41	9.08	7.81	8.58	17.51	15.29	16.97	25.75	22.67	25.31
6.81	9.12	7.83	8.60	17.55	15.31	17.00	25.8	22.7	25.33
7.21	9.15	7.85	8.62	17.6	15.34	17.02	25.85	22.73	25.35
7.61	9.18	7.86	8.63	17.64	15.36	17.04	25.91	22.75	25.37
8.01	9.21	7.88	8.65	17.69	15.39	17.06	25.96	22.78	25.4
8.41	9.24	7.89	8.66	17.73	15.41	17.08	26.02	22.81	25.42
8.81	9.27	7.91	8.68	17.78	15.43	17.11	26.07	22.84	25.44
9.21	9.3	7.92	8.69	17.82	15.45	17.13	26.12	22.87	25.47
9.61	9.33	7.93	8.71	17.86	15.47	17.15	26.18	22.9	25.49
10.01	9.35	7.95	8.72	17.91	15.49	17.17	26.23	22.92	25.52
10.41	9.38	7.96	8.73	17.95	15.52	17.19	26.28	22.95	25.54
10.81	9.4	7.97	8.75	17.99	15.54	17.2	26.33	22.98	25.56
11.21	9.43	7.98	8.76	18.03	15.56	17.22	26.38	23.0	25.59
11.61	9.45	7.99	8.77	18.07	15.57	17.24	26.43	23.03	25.61
12.01	9.48	8.00	8.78	18.1	15.59	17.26	26.48	23.05	25.63

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 28^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=20$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=25$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=30$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	36.28	31.1	35.8	46.17	39.24	45.64	56.53	47.56	55.86
2.41	35.16	30.57	34.91	44.34	38.39	44.19	53.78	46.31	53.69
2.81	34.55	30.28	34.4	43.35	37.91	43.35	52.29	45.61	52.46
3.21	34.20	30.11	34.1	42.76	37.63	42.84	51.41	45.19	51.70
3.61	34.00	30.02	33.9	42.41	37.46	42.51	50.87	44.93	51.20
4.01	33.88	29.96	33.78	42.19	37.36	42.3	50.52	44.76	50.87
4.41	33.82	29.94	33.7	42.06	37.3	42.15	50.3	44.66	50.64
4.81	33.8	29.93	33.65	41.99	37.27	42.05	50.17	44.6	50.48
5.21	33.81	29.94	33.63	41.96	37.26	41.99	50.09	44.56	50.37
5.61	33.83	29.95	33.61	41.95	37.26	41.95	50.05	44.55	50.29
6.01	33.86	29.97	33.61	41.97	37.27	41.93	50.04	44.55	50.24
6.41	33.9	30.00	33.62	42.00	37.29	41.92	50.06	44.56	50.21
6.81	33.95	30.03	33.63	42.04	37.32	41.92	50.09	44.58	50.19
7.21	34.01	30.05	33.65	42.09	37.35	41.92	50.13	44.61	50.19
7.61	34.06	30.09	33.67	42.14	37.38	41.93	50.18	44.64	50.19
8.01	34.12	30.12	33.69	42.20	37.41	41.95	50.23	44.67	50.2
8.41	34.18	30.15	33.71	42.26	37.44	41.97	50.29	44.7	50.21
8.81	34.24	30.18	33.73	42.33	37.48	41.99	50.36	44.74	50.23
9.21	34.30	30.21	33.76	42.39	37.51	42.02	50.43	44.78	50.25
9.61	34.36	30.25	33.78	42.46	37.55	42.04	50.5	44.82	50.27
10.01	34.42	30.28	33.81	42.53	37.59	42.07	50.57	44.86	50.3
10.41	34.48	30.31	33.84	42.59	37.62	42.09	50.64	44.89	50.32
10.81	34.54	30.34	33.86	42.66	37.66	42.12	50.71	44.93	50.35
11.21	34.60	30.37	33.89	42.73	37.69	42.15	50.78	44.97	50.38
11.61	34.66	30.40	33.91	42.8	37.73	42.18	50.86	45.01	50.41
12.01	34.72	30.43	33.94	42.86	37.76	42.21	50.93	45.05	50.44

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 28^{\circ}$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=35$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=40$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=45$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	67.41	56.1	66.48	78.89	64.85	77.55	91.07	73.85	89.08
2.41	63.5	54.35	63.43	73.52	62.51	73.42	83.88	70.81	83.68
2.81	61.41	53.38	61.71	70.7	61.22	71.13	80.19	69.15	80.72
3.21	60.17	52.79	60.65	69.04	60.44	69.72	78.03	68.15	78.91
3.61	59.40	52.42	59.96	68.00	59.95	68.8	76.68	67.51	77.73
4.01	58.9	52.18	59.49	67.32	59.62	68.17	75.8	67.09	76.92
4.41	58.57	52.03	59.16	66.87	59.41	67.73	75.2	66.8	76.35
4.81	58.36	51.93	58.93	66.56	59.26	67.42	74.79	66.61	75.93
5.21	58.22	51.87	58.76	66.36	59.17	67.18	74.51	66.48	75.63
5.61	58.14	51.83	58.65	66.23	59.11	67.02	74.32	66.39	75.41
6.01	58.1	51.82	58.56	66.15	59.08	66.89	74.2	66.34	75.24
6.41	58.09	51.82	58.51	66.11	59.07	66.81	74.12	66.31	75.12
6.81	58.1	51.83	58.47	66.1	59.07	66.74	74.09	66.3	75.03
7.21	58.13	51.85	58.45	66.11	59.08	66.7	74.08	66.3	74.96
7.61	58.17	51.88	58.43	66.14	59.1	66.68	74.09	66.31	74.92
8.01	58.22	51.91	58.43	66.18	59.13	66.66	74.12	66.34	74.89
8.41	58.28	51.94	58.44	66.24	59.16	66.66	74.17	66.36	74.87
8.81	58.34	51.98	58.45	66.29	59.2	66.66	74.22	66.4	74.86
9.21	58.41	52.02	58.47	66.36	59.23	66.67	74.28	66.43	74.87
9.61	58.48	52.06	58.48	66.43	59.27	66.68	74.35	66.47	74.87
10.01	58.56	52.1	58.51	66.51	59.32	66.7	74.42	66.51	74.89
10.41	58.63	52.14	58.53	66.58	59.36	66.73	74.5	66.56	74.91
10.81	58.71	52.18	58.56	66.66	59.4	66.75	74.58	66.6	74.93
11.21	58.78	52.22	58.59	66.74	59.45	66.78	74.66	66.65	74.95
11.61	58.86	52.26	58.62	66.82	59.49	66.81	74.75	66.7	74.98
12.01	58.94	52.31	58.65	66.91	59.54	66.84	74.83	66.74	75.01

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 48^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=5$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=10$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=15$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	9.2	7.93	8.7	18.48	15.89	17.95	28.08	23.98	27.56
2.41	9.18	7.92	8.71	18.23	15.76	17.76	27.42	23.67	27.04
2.81	9.19	7.93	8.74	18.11	15.71	17.67	27.07	23.5	26.75
3.21	9.22	7.95	8.76	18.06	15.69	17.63	26.88	23.41	26.58
3.61	9.26	7.97	8.79	18.05	15.69	17.62	26.78	23.37	26.48
4.01	9.3	7.99	8.82	18.07	15.7	17.62	26.74	23.35	26.43
4.41	9.34	8.01	8.85	18.1	15.71	17.63	26.74	23.35	26.4
4.81	9.38	8.03	8.88	18.14	15.74	17.64	26.75	23.36	26.39
5.21	9.43	8.05	8.9	18.19	15.76	17.66	26.79	23.38	26.39
5.61	9.47	8.07	8.93	18.24	15.79	17.69	26.83	23.41	26.4
6.01	9.51	8.09	8.95	18.29	15.81	17.71	26.88	23.43	26.41
6.41	9.55	8.11	8.97	18.34	15.84	17.74	26.93	23.46	26.43
6.81	9.58	8.13	8.99	18.39	15.87	17.76	26.99	23.49	26.46
7.21	9.62	8.15	9.01	18.45	15.89	17.79	27.05	23.52	26.48
7.61	9.66	8.16	9.03	18.5	15.92	17.81	27.11	23.56	26.51
8.01	9.69	8.18	9.05	18.55	15.95	17.84	27.17	23.59	26.53
8.41	9.73	8.2	9.07	18.6	15.97	17.86	27.23	23.62	26.56
8.81	9.76	8.21	9.09	18.65	16.0	17.89	27.3	23.65	26.59
9.21	9.79	8.23	9.1	18.7	16.02	17.91	27.36	23.68	26.61
9.61	9.82	8.24	9.12	18.75	16.05	17.93	27.42	23.71	26.64
10.01	9.85	8.26	9.13	18.79	16.07	17.95	27.48	23.75	26.67
10.41	9.88	8.27	9.15	18.84	16.09	17.98	27.54	23.78	26.69
10.81	9.91	8.28	9.16	18.89	16.12	18	27.59	23.81	26.72
11.21	9.94	8.3	9.18	18.93	16.14	18.02	27.65	23.83	26.75
11.61	9.97	8.31	9.19	18.98	16.16	18.04	27.71	23.86	26.77
12.01	9.99	8.32	9.2	19.02	16.18	18.06	27.77	23.89	26.8

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН δ =48°</i>								
	<i>Натяг веденої гілки P₀=20 сН</i>			<i>Натяг веденої гілки P₀=25 сН</i>			<i>Натяг веденої гілки P₀=30 сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	38.06	32.25	37.54	48.49	40.71	47.92	59.44	49.38	58.72
2.41	36.81	31.66	36.54	46.45	39.76	46.29	56.37	47.98	56.29
2.81	36.13	31.33	35.97	45.34	39.23	45.36	54.71	47.2	54.91
3.21	35.74	31.15	35.63	44.69	38.92	44.79	53.73	46.74	54.06
3.61	35.52	31.04	35.41	44.29	38.73	44.42	53.12	46.45	53.5
4.01	35.39	30.99	35.28	44.05	38.62	44.18	52.74	46.27	53.13
4.41	35.32	30.96	35.19	43.9	38.56	44.01	52.49	46.15	52.88
4.81	35.3	30.95	35.14	43.82	38.52	43.9	52.34	46.09	52.7
5.21	35.31	30.96	35.11	43.79	38.51	43.83	52.26	46.05	52.57
5.61	35.33	30.97	35.09	43.79	38.51	43.79	52.22	46.04	52.49
6.01	35.37	31.0	35.09	43.81	38.53	43.76	52.21	46.04	52.44
6.41	35.42	31.03	35.1	43.84	38.55	43.75	52.22	46.05	52.4
6.81	35.48	31.06	35.11	43.89	38.58	43.75	52.26	46.07	52.38
7.21	35.54	31.09	35.13	43.95	38.61	43.76	52.3	46.1	52.38
7.61	35.6	31.12	35.15	44.01	38.65	43.77	52.36	46.14	52.38
8.01	35.67	31.16	35.18	44.08	38.68	43.79	52.43	46.17	52.39
8.41	35.73	31.2	35.2	44.15	38.72	43.81	52.5	46.21	52.4
8.81	35.8	31.23	35.23	44.22	38.76	43.84	52.57	46.25	52.42
9.21	35.87	31.27	35.26	44.29	38.8	43.87	52.65	46.29	52.45
9.61	35.94	31.3	35.29	44.37	38.84	43.9	52.73	46.34	52.47
10.01	36.01	31.34	35.32	44.45	38.88	43.93	52.81	46.38	52.5
10.41	36.08	31.38	35.35	44.52	38.92	43.96	52.89	46.42	52.53
10.81	36.15	31.41	35.38	44.6	38.96	43.99	52.97	46.47	52.56
11.21	36.22	31.45	35.41	44.67	39.0	44.02	53.05	46.51	52.6
11.61	36.28	31.48	35.44	44.75	39.04	44.05	53.14	46.56	52.63
12.01	36.35	31.52	35.47	44.83	39.08	44.08	53.22	46.6	52.66

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН δ =48°</i>								
	<i>Натяг веденої гілки P₀=35 сН</i>			<i>Натяг веденої гілки P₀=40 сН</i>			<i>Натяг веденої гілки P₀=45 сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	70.97	58.27	69.98	83.17	67.42	81.72	96.13	76.83	94
2.41	66.6	56.33	66.56	77.16	64.82	77.1	88.11	73.46	87.95
2.81	64.26	55.25	64.63	74.02	63.39	74.54	83.99	71.62	84.63
3.21	62.89	54.6	63.45	72.17	62.53	72.96	81.59	70.51	82.61
3.61	62.02	54.2	62.67	71.01	61.98	71.93	80.08	69.8	81.28
4.01	61.47	53.93	62.15	70.25	61.62	71.23	79.1	69.33	80.38
4.41	61.1	53.76	61.78	69.75	61.38	70.74	78.43	69.01	79.74
4.81	60.87	53.65	61.52	69.41	61.22	70.38	77.98	68.8	79.28
5.21	60.72	53.58	61.34	69.19	61.12	70.13	77.66	68.66	78.94
5.61	60.63	53.55	61.21	69.04	61.06	69.94	77.46	68.56	78.69
6.01	60.59	53.53	61.11	68.96	61.02	69.8	77.32	68.5	78.51
6.41	60.58	53.54	61.05	68.92	61.01	69.71	77.24	68.47	78.37
6.81	60.59	53.55	61.01	68.91	61.01	69.64	77.2	68.46	78.27
7.21	60.63	53.57	60.98	68.92	61.02	69.59	77.2	68.47	78.2
7.61	60.67	53.6	60.97	68.96	61.05	69.56	77.21	68.48	78.15
8.01	60.73	53.63	60.97	69	61.08	69.55	77.25	68.51	78.12
8.41	60.8	53.67	60.98	69.06	61.11	69.54	77.3	68.54	78.1
8.81	60.87	53.71	60.99	69.13	61.15	69.55	77.36	68.58	78.09
9.21	60.95	53.76	61.01	69.21	61.2	69.56	77.43	68.62	78.1
9.61	61.03	53.8	61.03	69.29	61.24	69.57	77.51	68.66	78.11
10.01	61.11	53.85	61.06	69.37	61.29	69.6	77.59	68.71	78.12
10.41	61.2	53.89	61.09	69.46	61.34	69.62	77.68	68.76	78.14
10.81	61.28	53.94	61.12	69.55	61.39	69.65	77.77	68.81	78.17
11.21	61.37	53.99	61.15	69.64	61.44	69.68	77.87	68.86	78.2
11.61	61.46	54.04	61.18	69.73	61.49	69.71	77.96	68.91	78.23
12.01	61.55	54.08	61.22	69.83	61.54	69.75	78.06	68.97	78.26

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 68^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=5$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=10$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=15$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	9.99	8.44	9.39	20.08	16.92	19.43	30.54	25.55	29.91
2.41	9.97	8.44	9.4	19.77	16.77	19.21	29.74	25.18	29.28
2.81	9.99	8.45	9.43	19.63	16.71	19.1	29.32	24.98	28.93
3.21	10.03	8.47	9.46	19.57	16.68	19.05	29.09	24.87	28.73
3.61	10.07	8.49	9.5	19.57	16.68	19.03	28.98	24.82	28.62
4.01	10.12	8.51	9.54	19.59	16.7	19.03	28.93	24.8	28.55
4.41	10.18	8.54	9.57	19.63	16.72	19.05	28.93	24.81	28.52
4.81	10.23	8.57	9.6	19.68	16.74	19.07	28.95	24.82	28.5
5.21	10.28	8.59	9.63	19.74	16.77	19.09	28.99	24.84	28.51
5.61	10.33	8.62	9.66	19.8	16.8	19.12	29.05	24.87	28.52
6.01	10.38	8.64	9.69	19.86	16.84	19.15	29.11	24.91	28.54
6.41	10.43	8.66	9.72	19.93	16.87	19.18	29.18	24.94	28.56
6.81	10.48	8.69	9.75	19.99	16.9	19.21	29.25	24.98	28.59
7.21	10.52	8.71	9.77	20.06	16.93	19.25	29.32	25.02	28.62
7.61	10.57	8.73	9.8	20.12	16.97	19.28	29.4	25.06	28.65
8.01	10.61	8.75	9.82	20.19	17	19.31	29.47	25.1	28.69
8.41	10.65	8.77	9.84	20.25	17.03	19.34	29.55	25.13	28.72
8.81	10.7	8.79	9.86	20.31	17.06	19.37	29.62	25.17	28.75
9.21	10.74	8.81	9.88	20.37	17.09	19.4	29.7	25.21	28.79
9.61	10.77	8.83	9.9	20.43	17.12	19.43	29.78	25.25	28.82
10.01	10.81	8.84	9.92	20.49	17.15	19.45	29.85	25.29	28.85
10.41	10.85	8.86	9.94	20.55	17.18	19.48	29.92	25.32	28.89
10.81	10.89	8.88	9.96	20.6	17.2	19.51	30.0	25.36	28.92
11.21	10.92	8.89	9.97	20.66	17.23	19.53	30.07	25.39	28.95
11.61	10.95	8.91	9.99	20.71	17.26	19.56	30.14	25.43	28.98
12.01	10.99	8.93	10.0	20.77	17.28	19.58	30.21	25.46	29.01

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , <i>мм</i>	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 68^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=20$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=25$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=30$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	41.45	34.39	40.85	52.9	43.45	52.25	64.97	52.76	64.17
2.41	39.94	33.69	39.64	50.44	42.33	50.28	61.27	51.11	61.23
2.81	39.13	33.3	38.95	49.11	41.7	49.15	59.28	50.18	59.56
3.21	38.66	33.08	38.53	48.32	41.33	48.47	58.1	49.63	58.53
3.61	38.39	32.96	38.27	47.85	41.11	48.02	57.38	49.29	57.87
4.01	38.24	32.89	38.11	47.56	40.98	47.73	56.92	49.08	57.42
4.41	38.17	32.86	38.01	47.39	40.9	47.54	56.63	48.94	57.11
4.81	38.14	32.85	37.94	47.3	40.86	47.41	56.45	48.86	56.9
5.21	38.15	32.86	37.91	47.26	40.85	47.32	56.35	48.82	56.75
5.61	38.18	32.88	37.9	47.26	40.86	47.27	56.31	48.81	56.65
6.01	38.23	32.91	37.89	47.29	40.87	47.24	56.3	48.81	56.59
6.41	38.29	32.94	37.9	47.33	40.9	47.23	56.32	48.83	56.54
6.81	38.36	32.98	37.92	47.39	40.94	47.23	56.37	48.86	56.52
7.21	38.44	33.02	37.94	47.46	40.97	47.24	56.43	48.89	56.52
7.61	38.52	33.06	37.97	47.54	41.02	47.26	56.5	48.93	56.52
8.01	38.6	33.11	38.0	47.63	41.06	47.28	56.58	48.98	56.54
8.41	38.69	33.15	38.03	47.71	41.11	47.31	56.66	49.02	56.56
8.81	38.77	33.2	38.07	47.8	41.16	47.34	56.76	49.07	56.58
9.21	38.86	33.24	38.1	47.9	41.2	47.37	56.85	49.12	56.61
9.61	38.94	33.28	38.14	47.99	41.25	47.41	56.95	49.18	56.64
10.01	39.03	33.33	38.18	48.08	41.3	47.45	57.05	49.23	56.68
10.41	39.11	33.37	38.21	48.18	41.35	47.48	57.15	49.28	56.72
10.81	39.2	33.41	38.25	48.27	41.4	47.52	57.25	49.34	56.76
11.21	39.28	33.46	38.29	48.37	41.45	47.56	57.35	49.39	56.8
11.61	39.37	33.5	38.32	48.46	41.5	47.6	57.46	49.44	56.84
12.01	39.45	33.54	38.36	48.55	41.54	47.64	57.56	49.49	56.88

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , мм	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 68^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=35$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=40$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=45$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	77.73	62.34	76.63	91.29	72.21	89.68	105.76	82.41	103.37
2.41	72.47	60.04	72.49	84.07	69.13	84.1	96.12	78.4	96.05
2.81	69.67	58.76	70.17	80.29	67.43	81	91.18	76.22	92.05
3.21	68.02	57.99	68.74	78.08	66.41	79.1	88.31	74.9	89.61
3.61	66.99	57.51	67.81	76.69	65.76	77.86	86.51	74.07	88.02
4.01	66.32	57.2	67.18	75.79	65.34	77.02	85.33	73.51	86.93
4.41	65.89	56.99	66.74	75.19	65.06	76.42	84.53	73.14	86.17
4.81	65.61	56.87	66.43	74.79	64.87	76.0	83.99	72.89	85.61
5.21	65.43	56.79	66.21	74.52	64.75	75.69	83.62	72.72	85.21
5.61	65.33	56.75	66.05	74.35	64.68	75.47	83.38	72.61	84.91
6.01	65.29	56.73	65.94	74.26	64.64	75.3	83.22	72.54	84.69
6.41	65.28	56.73	65.86	74.21	64.63	75.19	83.13	72.51	84.52
6.81	65.3	56.75	65.81	74.2	64.63	75.11	83.09	72.5	84.4
7.21	65.34	56.78	65.79	74.22	64.65	75.05	83.08	72.5	84.32
7.61	65.4	56.82	65.77	74.27	64.68	75.02	83.11	72.52	84.26
8.01	65.47	56.86	65.77	74.33	64.72	75.0	83.16	72.55	84.23
8.41	65.56	56.9	65.78	74.41	64.76	75.0	83.22	72.59	84.21
8.81	65.65	56.95	65.8	74.49	64.81	75.01	83.3	72.64	84.2
9.21	65.74	57.01	65.82	74.58	64.86	75.02	83.39	72.69	84.2
9.61	65.84	57.06	65.85	74.68	64.91	75.04	83.48	72.74	84.22
10.01	65.95	57.12	65.89	74.79	64.97	75.07	83.59	72.8	84.24
10.41	66.05	57.17	65.92	74.9	65.03	75.1	83.7	72.86	84.26
10.81	66.16	57.23	65.96	75.01	65.09	75.14	83.81	72.92	84.3
11.21	66.27	57.29	66.0	75.12	65.15	75.18	83.92	72.99	84.33
11.61	66.38	57.34	66.04	75.24	65.21	75.22	84.04	73.05	84.37
12.01	66.49	57.4	66.08	75.35	65.27	75.26	84.16	73.12	84.41

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , мм	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 88^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=5$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=10$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=15$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	11.48	9.38	10.66	23.06	18.79	22.19	35.12	28.41	34.3
2.41	11.45	9.37	10.68	22.65	18.6	21.9	34.06	27.92	33.46
2.81	11.48	9.39	10.72	22.47	18.52	21.75	33.5	27.67	33
3.21	11.53	9.42	10.77	22.4	18.49	21.69	33.21	27.53	32.73
3.61	11.6	9.45	10.81	22.39	18.49	21.66	33.06	27.47	32.58
4.01	11.67	9.48	10.86	22.43	18.51	21.67	33.01	27.45	32.49
4.41	11.74	9.51	10.91	22.48	18.54	21.69	33.0	27.45	32.45
4.81	11.82	9.55	10.96	22.55	18.58	21.72	33.04	27.47	32.44
5.21	11.89	9.58	11.0	22.63	18.62	21.75	33.1	27.5	32.44
5.61	11.96	9.62	11.04	22.72	18.66	21.79	33.18	27.54	32.46
6.01	12.03	9.65	11.08	22.81	18.7	21.84	33.26	27.59	32.49
6.41	12.1	9.68	11.12	22.9	18.75	21.88	33.36	27.64	32.52
6.81	12.16	9.71	11.15	22.99	18.79	21.92	33.46	27.69	32.56
7.21	12.23	9.74	11.19	23.08	18.83	21.96	33.56	27.74	32.6
7.61	12.29	9.77	11.22	23.17	18.88	22.01	33.67	27.79	32.65
8.01	12.35	9.8	11.25	23.26	18.92	22.05	33.77	27.84	32.69
8.41	12.41	9.82	11.28	23.35	18.96	22.09	33.88	27.89	32.74
8.81	12.47	9.85	11.31	23.43	19.0	22.13	33.98	27.95	32.79
9.21	12.53	9.88	11.34	23.52	19.04	22.17	34.09	28.0	32.83
9.61	12.58	9.9	11.37	23.6	19.08	22.21	34.19	28.05	32.88
10.01	12.63	9.92	11.39	23.68	19.12	22.25	34.3	28.1	32.92
10.41	12.69	9.95	11.42	23.76	19.16	22.29	34.4	28.15	32.97
10.81	12.74	9.97	11.44	23.84	19.19	22.32	34.5	28.19	33.02
11.21	12.79	9.99	11.46	23.92	19.23	22.36	34.6	28.24	33.06
11.61	12.83	10.01	11.49	23.99	19.27	22.39	34.69	28.29	33.1
12.01	12.88	10.03	11.51	24.07	19.3	22.43	34.79	28.33	33.15

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , мм	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 88^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=20$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=25$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=30$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	47.77	38.28	47.01	61.13	48.45	60.35	75.27	58.92	74.36
2.41	45.77	37.37	45.4	57.87	46.99	57.71	70.39	56.78	70.43
2.81	44.7	36.88	44.48	56.1	46.18	56.22	67.76	55.59	68.21
3.21	44.08	36.59	43.93	55.07	45.7	55.3	66.21	54.88	66.85
3.61	43.73	36.43	43.59	54.45	45.42	54.72	65.26	54.44	65.97
4.01	43.54	36.35	43.37	54.08	45.25	54.33	64.66	54.16	65.38
4.41	43.44	36.31	43.24	53.86	45.15	54.08	64.29	53.99	64.97
4.81	43.42	36.3	43.16	53.75	45.11	53.91	64.06	53.9	64.69
5.21	43.44	36.32	43.11	53.7	45.09	53.8	63.94	53.84	64.5
5.61	43.48	36.35	43.1	53.71	45.1	53.73	63.88	53.83	64.37
6.01	43.56	36.39	43.1	53.75	45.13	53.69	63.88	53.84	64.29
6.41	43.64	36.43	43.11	53.82	45.17	53.68	63.92	53.86	64.23
6.81	43.74	36.48	43.14	53.9	45.21	53.68	63.98	53.9	64.21
7.21	43.84	36.54	43.17	54	45.27	53.7	64.07	53.95	64.2
7.61	43.96	36.59	43.21	54.11	45.32	53.73	64.17	54.0	64.21
8.01	44.07	36.65	43.25	54.23	45.38	53.76	64.28	54.06	64.23
8.41	44.19	36.71	43.3	54.35	45.45	53.8	64.4	54.12	64.26
8.81	44.3	36.77	43.35	54.47	45.51	53.84	64.53	54.19	64.3
9.21	44.42	36.83	43.39	54.6	45.57	53.89	64.66	54.26	64.34
9.61	44.54	36.89	43.44	54.73	45.64	53.94	64.8	54.33	64.39
10.01	44.66	36.95	43.49	54.86	45.71	53.99	64.94	54.4	64.44
10.41	44.78	37.0	43.54	54.99	45.77	54.04	65.08	54.47	64.49
10.81	44.9	37.06	43.59	55.12	45.84	54.1	65.22	54.54	64.54
11.21	45.01	37.12	43.65	55.25	45.9	54.15	65.36	54.61	64.6
11.61	45.13	37.17	43.7	55.38	45.97	54.21	65.5	54.69	64.66
12.01	45.24	37.23	43.75	55.51	46.03	54.26	65.64	54.76	64.72

Залежність натягу нитки після спрямовувача у формі тора в залежності від
вхідного натягу та радіусу кривизни поверхні тора в зоні контакту

<i>R</i> , мм	<i>Натяг нитки після спрямовувача у формі тора P, сН $\delta = 88^0$</i>								
	<i>Натяг веденої гілки $P_0=35$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=40$ сН</i>			<i>Натяг веденої гілки $P_0=45$ сН</i>		
	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>	<i>ПАН</i>	<i>ВП</i>	<i>БП</i>
2.01	90.33	69.75	89.09	106.43	80.95	104.6	123.72	92.55	120.96
2.41	83.38	66.77	83.57	96.9	76.96	97.15	111	87.38	111.2
2.81	79.69	65.11	80.48	91.93	74.77	93.03	104.5	84.56	105.88
3.21	77.52	64.12	78.59	89.02	73.45	90.51	100.73	82.87	102.64
3.61	76.17	63.5	77.35	87.21	72.62	88.87	98.37	81.79	100.53
4.01	75.3	63.1	76.51	86.02	72.07	87.75	96.83	81.08	99.1
4.41	74.74	62.85	75.93	85.24	71.71	86.97	95.8	80.6	98.08
4.81	74.38	62.68	75.52	84.72	71.48	86.41	95.1	80.28	97.35
5.21	74.16	62.59	75.23	84.38	71.33	86.01	94.63	80.07	96.82
5.61	74.03	62.54	75.03	84.17	71.23	85.71	94.31	79.93	96.43
6.01	73.98	62.52	74.89	84.05	71.19	85.5	94.12	79.85	96.14
6.41	73.98	62.53	74.79	84	71.17	85.35	94.01	79.81	95.93
6.81	74.01	62.55	74.73	84	71.18	85.25	93.96	79.79	95.77
7.21	74.07	62.59	74.69	84.04	71.21	85.18	93.96	79.81	95.66
7.61	74.16	62.64	74.68	84.1	71.25	85.14	94.0	79.84	95.59
8.01	74.26	62.7	74.68	84.19	71.3	85.12	94.07	79.88	95.55
8.41	74.38	62.76	74.7	84.3	71.36	85.12	94.17	79.93	95.52
8.81	74.51	62.83	74.73	84.42	71.43	85.13	94.28	80	95.52
9.21	74.64	62.9	74.76	84.55	71.5	85.15	94.4	80.07	95.53
9.61	74.78	62.97	74.8	84.69	71.57	85.19	94.54	80.14	95.55
10.01	74.92	63.04	74.85	84.83	71.65	85.22	94.68	80.22	95.58
10.41	75.07	63.12	74.9	84.98	71.73	85.27	94.83	80.3	95.62
10.81	75.22	63.2	74.95	85.14	71.81	85.32	94.99	80.38	95.66
11.21	75.37	63.27	75	85.29	71.89	85.37	95.15	80.46	95.71
11.61	75.52	63.35	75.06	85.45	71.97	85.43	95.31	80.55	95.77

Додаток Б

Б1

Програма для визначення приведенного коефіцієнту тертя при реалізації алгоритму дихотомії для трансцендентних рівнянь

```

program Project1; uses Forms, TUDI1 in 'TUDI1.pas' {frmTUDI1}, TUDI2 in
'TUDI2.pas' {frmTUDI2}, Unit1 in 'Unit1.pas' {Form1}, Unit2 in 'Unit2.pas'
{Form2}, Unit3 in 'Unit3.pas' {Form3}; {$R *.res} begin Application.Initialize;
Application.CreateForm(TfrmTUDI1, frmTUDI1);
Application.CreateForm(TfrmTUDI2, frmTUDI2); Application.CreateForm(TForm1,
Form1); Application.CreateForm(TForm2, Form2);
Application.CreateForm(TForm3, Form3); Application.Run; end. unit TUDI2;
interface uses Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics,
Controls, ComObj, Forms, Dialogs, StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs,
Chart, Math, Grids, Jpeg, Printers, ShellAPI; type TfrmTUDI2 = class(TForm)
btn21TUDI2: TButton; btn23TUDI2: TButton; StringGrid1: TStringGrid; Button1:
TButton; Button2: TButton; Label1: TLabel; procedure btn23TUDI2Click(Sender:
TObject); procedure btn21TUDI2Click(Sender: TObject); procedure
Button1Click(Sender: TObject); procedure Button2Click(Sender: TObject); private {
Private declarations } public { Public declarations } end; var frmTUDI2:
TfrmTUDI2; a,b,e,X,g,k,vn,teks,rad,vnp,rH,sn,rn,ktren,ug,ktrp,Ktrenie,R:Real;
m1,m2,m3,m4:array[1..9,1..11] of Real; code,n,j1,j2:Integer;
X1,n1,ug1,ktrp1,ktren1:string; implementation uses TUDI1,Unit1; {$R *.dfm}
procedure TfrmTUDI2.btn21TUDI2Click(Sender: TObject); begin
StringGrid1.Cells[0,0]='rH'; StringGrid1.Cells[1,0]='R=1.5';
StringGrid1.Cells[2,0]='R=2'; StringGrid1.Cells[3,0]='R=2.5';
StringGrid1.Cells[4,0]='R=3'; StringGrid1.Cells[5,0]='R=3.5';
StringGrid1.Cells[6,0]='R=4'; StringGrid1.Cells[7,0]='R=4.5';
StringGrid1.Cells[8,0]='R=5'; for j1:=1 to 8 do begin R:=0.5+j1; for j2:=1 to 10 do
begin rH:=j2/10; a:=0.0001; b:=1; e:=0.0001; n:=0; repeat X:=a;
g:=3.14*sqr(rH)-sqr(R)*arccos((R-x)/R)+(R-x)*sqrt(2*R*x-sqr(x)); if g>=0 then

```

```

begin k:=1; end else begin k:=-1; end; X:=(a+b)/2; g:=3.14*sqr(rH)-
sqr(R)*arccos((R-x)/R)+(R-x)*sqrt(2*R*x-sqr(x)); g:=k*g; if g>0 then begin
a:=X; end else begin b:=X; end; n:=n+1; until b-a<e; m1[j1,j2]:=x;
m2[j1,j2]:=2*arccos((R-x)/R); m4[j1,j2]:=rH; end; end; for j1:=1 to 8 do begin
for j2:=1 to 10 do begin StringGrid1.Cells[j1,j2]:=format('%8.4f',[m1[j1,j2]]); end;
end; for j2:=1 to 10 do begin StringGrid1.Cells[0,j2]:=format('%4.1f',[m4[1,j2]]); end;
end; procedure XlsWriteCellLabel(XlsStream: TStream; const ACol, ARow: Word;
const AValue: string); var L: Word; const {$J+} CXlsLabel: array[0..5] of Word
= ($204, 0, 0, 0, 0, 0); {$J-} begin L := Length(AValue); CXlsLabel[1] := 8 + L;
CXlsLabel[2] := ARow; CXlsLabel[3] := ACol; CXlsLabel[5] := L;
XlsStream.WriteBuffer(CXlsLabel, SizeOf(CXlsLabel));
XlsStream.WriteBuffer(Pointer(AValue), L); end; function SaveAsExcelFile(AGrid:
TStringGrid; AFileName: string): Boolean; const {$J+} CXlsBof: array[0..5] of
Word = ($809, 8, 00, $10, 0, 0); {$J-} CXlsEof: array[0..1] of Word = ($0A, 00); var
FStream: TFileStream; I, J: Integer; begin Result := False; FStream :=
TFileStream.Create(PChar(AFileName), fmCreate or fmOpenWrite); try CXlsBof[4]
:= 0; FStream.WriteBuffer(CXlsBof, SizeOf(CXlsBof)); for i := 0 to AGrid.ColCount
- 1 do for j := 0 to AGrid.RowCount - 1 do XlsWriteCellLabel(FStream, I, J,
AGrid.Cells[i, j]); FStream.WriteBuffer(CXlsEof, SizeOf(CXlsEof)); Result := True;
finally FStream.Free; end; end; procedure TfrmTUDI2.Button1Click(Sender:
TObject); begin if SaveAsExcelFile(StringGrid1, extractfilepath(paramstr(0))+
'\TableForPrint.xls') then
ShellExecute(Application.Handle,PChar('open'),PChar(extractfilepath(paramstr(0))+
'\TableForPrint.xls'),Nil,Nil,SW_SHOW); {ShowMessage('StringGrid saved!')}; end;
procedure TfrmTUDI2.btn23TUDI2Click(Sender: TObject); begin frmTUDI1.Close;
end; procedure TfrmTUDI2.Button2Click(Sender: TObject); begin Form1.Show;
frmTUDI2.Hide; end; end. unit Unit1; interface uses Windows, Messages, SysUtils,
Variants, Classes, Graphics, Controls, ComObj, Forms, Dialogs, StdCtrls, TeEngine,
Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, Math, Grids, Jpeg, Printers, ShellAPI; type TForm1
= class(TForm) Button1: TButton; StringGrid1: TStringGrid; Button2: TButton;

```

```

Button3: TButton; Button4: TButton; Label1: TLabel; procedure
Button1Click(Sender: TObject); procedure Button2Click(Sender: TObject); procedure
Button3Click(Sender: TObject); procedure Button4Click(Sender: TObject); private {
Private declarations } public { Public declarations } end; var Form1: TForm1;
a,b,e,X,g,k,vn,teks,rad,vnp,rH,sn,rn,ktren,ug,ktrp,Ktrenie,R:Real;
m1,m2,m3,m4:array[1..9,1..11] of Real; code,n,j1,j2:Integer;
X1,n1,ug1,ktrp1,ktren1:string; implementation uses TUDI2,Unit2; {$R *.dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject); begin Form1.Hide;
frmTUDI2.Show; end; procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject); begin
StringGrid1.Cells[0,0]:='rH'; StringGrid1.Cells[1,0]:='R=1.5';
StringGrid1.Cells[2,0]:='R=2'; StringGrid1.Cells[3,0]:='R=2.5';
StringGrid1.Cells[4,0]:='R=3'; StringGrid1.Cells[5,0]:='R=3.5';
StringGrid1.Cells[6,0]:='R=4'; StringGrid1.Cells[7,0]:='R=4.5';
StringGrid1.Cells[8,0]:='R=5'; for j1:=1 to 8 do begin R:=0.5+j1; for j2:=1 to 10 do
begin rH:=j2/10; a:=0.0001; b:=1; e:=0.0001; n:=0; repeat X:=a;
g:=3.14*sqr(rH)-sqr(R)*arccos((R-x)/R)+(R-x)*sqrt(2*R*x-sqr(x)); if g>=0 then
begin k:=1; end else begin k:=-1; end; X:=(a+b)/2; g:=3.14*sqr(rH)-
sqr(R)*arccos((R-x)/R)+(R-x)*sqrt(2*R*x-sqr(x)); g:=k*g; if g>0 then begin
a:=X; end else begin b:=X; end; n:=n+1; until b-a<e; m1[j1,j2]:=x;
m2[j1,j2]:=2*arccos((R-x)/R); m4[j1,j2]:=rH; end; end; for j1:=1 to 8 do begin
for j2:=1 to 10 do begin StringGrid1.Cells[j1,j2]:=format('%8.4f',[m2[j1,j2]]); end;
end; for j2:=1 to 10 do begin StringGrid1.Cells[0,j2]:=format('%4.1f',[m4[1,j2]]); end;
end; procedure XlsWriteCellLabel(XlsStream: TStream; const ACol, ARow: Word;
const AValue: string); var L: Word; const {$J+} CXlsLabel: array[0..5] of Word
= ($204, 0, 0, 0, 0, 0); {$J-} begin L := Length(AValue); CXlsLabel[1] := 8 + L;
CXlsLabel[2] := ARow; CXlsLabel[3] := ACol; CXlsLabel[5] := L;
XlsStream.WriteBuffer(CXlsLabel, SizeOf(CXlsLabel));
XlsStream.WriteBuffer(Pointer(AValue), L); end; function SaveAsExcelFile(AGrid:
TStringGrid; AFileName: string): Boolean; const {$J+} CXlsBof: array[0..5] of
Word = ($809, 8, 00, $10, 0, 0); {$J-} CXlsEof: array[0..1] of Word = ($0A, 00); var

```

```

FStream: TFileStream; I, J: Integer; begin Result := False; FStream :=
TFileStream.Create(PChar(AFileName), fmCreate or fmOpenWrite); try CXlsBof[4]
:= 0; FStream.WriteBuffer(CXlsBof, SizeOf(CXlsBof)); for i := 0 to AGrid.ColCount
- 1 do for j := 0 to AGrid.RowCount - 1 do XlsWriteCellLabel(FStream, I, J,
AGrid.cells[i, j]); FStream.WriteBuffer(CXlsEof, SizeOf(CXlsEof)); Result := True;
finally FStream.Free; end; end; procedure TForm1.Button3Click(Sender:
TObject); begin if SaveAsExcelFile(StringGrid1, extractfilepath(paramstr(0))+
'\TableForPrint.xls') then
ShellExecute(Application.Handle, PChar('open'), PChar(extractfilepath(paramstr(0))+
'\TableForPrint.xls'), Nil, Nil, SW_SHOW); {ShowMessage('StringGrid saved!')}; end;
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject); begin Form1.Hide; Form2.Show;
end; end. unit Unit2; interface uses Windows, Messages, SysUtils, Variants,
Classes, Graphics, Controls, ComObj, Forms, Dialogs, StdCtrls, TeEngine, Series,
ExtCtrls, TeeProcs, Chart, Math, Grids, Jpeg, Printers, ShellAPI; type TForm2 =
class(TForm) Button1: TButton; Button2: TButton; StringGrid1: TStringGrid;
Button3: TButton; Button4: TButton; Label1: TLabel; Edit1: TEdit; Label2: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject); procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject); procedure Button4Click(Sender: TObject);
private { Private declarations } public { Public declarations } end; var Form2:
TForm2; a, b, e, X, g, k, vn, teks, rad, vnp, rH, sn, rn, ktren, ug, ktrp, Ktrenie, R: Real;
m1, m2, m3, m4: array[1..9, 1..11] of Real; code, n, j1, j2: Integer;
X1, n1, ug1, ktrp1, ktren1: string; implementation uses Unit1, Unit3; {$R *.dfm}
procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject); begin Form1.Show; Form2.Hide;
end; procedure TForm2.Button2Click(Sender: TObject); begin
val(Edit1.Text, Ktrenie, code); StringGrid1.Cells[0,0]:='rH';
StringGrid1.Cells[1,0]:='R=1.5'; StringGrid1.Cells[2,0]:='R=2';
StringGrid1.Cells[3,0]:='R=2.5'; StringGrid1.Cells[4,0]:='R=3';
StringGrid1.Cells[5,0]:='R=3.5'; StringGrid1.Cells[6,0]:='R=4';
StringGrid1.Cells[7,0]:='R=4.5'; StringGrid1.Cells[8,0]:='R=5'; for j1:=1 to 8 do
begin R:=0.5+j1; for j2:=1 to 10 do begin rH:=j2/10; a:=0.0001; b:=1; e:=0.0001;

```

```

n:=0; repeat X:=a; g:=3.14*sqr(rH)-sqr(R)*arccos((R-x)/R)+(R-x)*sqrt(2*R*x-
sqr(x)); if g>=0 then begin k:=1; end else begin k:=-1; end; X:=(a+b)/2;
g:=3.14*sqr(rH)-sqr(R)*arccos((R-x)/R)+(R-x)*sqrt(2*R*x-sqr(x)); g:=k*g; if g>0
then begin a:=X; end else begin b:=X; end; n:=n+1; until b-a<e;
m1[j1,j2]:=x; m2[j1,j2]:=2*arccos((R-x)/R); m3[j1,j2]:=4*Ktrenie*sin(arccos((R-
x)/R))/ 2*arccos((R-x)/R)+sin(2*arccos((R-x)/R)); m4[j1,j2]:=rH; end; end; for
j1:=1 to 8 do begin for j2:=1 to 10 do begin
StringGrid1.Cells[j1,j2]:=format('%8.4f',[m3[j1,j2]]); end; end; for j2:=1 to 10 do
begin StringGrid1.Cells[0,j2]:=format('%4.1f',[m4[1,j2]]); end; end; procedure
XlsWriteCellLabel(XlsStream: TStream; const ACol, ARow: Word; const AValue:
string); var L: Word; const {$J+} CXlsLabel: array[0..5] of Word = ($204, 0, 0,
0, 0, 0); {$J-} begin L := Length(AValue); CXlsLabel[1] := 8 + L;
CXlsLabel[2] := ARow; CXlsLabel[3] := ACol; CXlsLabel[5] := L;
XlsStream.WriteBuffer(CXlsLabel, SizeOf(CXlsLabel));
XlsStream.WriteBuffer(Pointer(AValue), L); end; function SaveAsExcelFile(AGrid:
TStringGrid; AFileName: string): Boolean; const {$J+} CXlsBof: array[0..5] of
Word = ($809, 8, 00, $10, 0, 0); {$J-} CXlsEof: array[0..1] of Word = ($0A, 00); var
FStream: TFileStream; I, J: Integer; begin Result := False; FStream :=
TFileStream.Create(PChar(AFileName), fmCreate or fmOpenWrite); try CXlsBof[4]
:= 0; FStream.WriteBuffer(CXlsBof, SizeOf(CXlsBof)); for i := 0 to AGrid.ColCount
- 1 do for j := 0 to AGrid.RowCount - 1 do XlsWriteCellLabel(FStream, I, J,
AGrid.cells[i, j]); FStream.WriteBuffer(CXlsEof, SizeOf(CXlsEof)); Result := True;
finally FStream.Free; end; end; procedure TForm2.Button3Click(Sender: TObject);
begin if SaveAsExcelFile(StringGrid1, extractfilepath(paramstr(0))+
'\TableForPrint.xls') then
ShellExecute(Application.Handle,PChar('open'),PChar(extractfilepath(paramstr(0))+
'\TableForPrint.xls'),Nil,Nil,SW_SHOW); {ShowMessage('StringGrid saved!')}; end;
procedure TForm2.Button4Click(Sender: TObject); begin Form2.Hide; Form3.Show;
end; end. unit Unit3; interface uses Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
Graphics, Controls,ComObj , Forms, Dialogs, StdCtrls, TeEngine, Series, ExtCtrls,

```

```

TeeProcs, Chart,Math, Grids,Jpeg,Printers, ShellAPI; type TForm3 = class(TForm)
Button1: TButton; Label1: TLabel; Edit1: TEdit; Label2: TLabel; Edit2: TEdit;
Label3: TLabel; Label4: TLabel; Edit3: TEdit; Label5: TLabel; Edit4: TEdit;
GroupBox1: TGroupBox; Label6: TLabel; Label7: TLabel; Label8: TLabel; Label9:
TLabel; Label10: TLabel; Label11: TLabel; GroupBox2: TGroupBox; Label12:
TLabel; Label13: TLabel; Label14: TLabel; Label15: TLabel; Edit5: TEdit; Button2:
TButton; Memo1: TMemo; Button3: TButton; Chart1: TChart; Chart2: TChart;
Chart3: TChart; Chart4: TChart; Series1: TBarSeries; Series2: TBarSeries; Series3:
TBarSeries; Series4: TBarSeries; Series5: TBarSeries; Series6: TBarSeries; Series7:
TBarSeries; procedure Button1Click(Sender: TObject); procedure
Button2Click(Sender: TObject); procedure Button3Click(Sender: TObject); private
{ Private declarations } public { Public declarations } end; var Form3: TForm3;
a,b,e,X,g,k,vn,teks,rad,vnp,rn,sn,ktren,ug,ktrp:Real; code,n:Integer;
X1,n1,ug1,ktrp1,ktren1:string; implementation uses Unit2; {$R *.dfm} procedure
TForm3.Button1Click(Sender: TObject); begin Form2.Show; Form3.Hide; end;
procedure TForm3.Button2Click(Sender: TObject); begin val(edit1.Text,vn,code);
val(edit2.Text,teks,code); val(edit3.Text,rad,code); val(edit4.Text,vnp,code);
a:=0.0001; b:=1; e:=0.0001; if vn=1 then begin rn:=0.0395*sqrt(teks)/2;
sn:=3.14*sqr(rn); end else begin if vn=2 then begin rn:=0.0427*sqrt(teks)/2;
sn:=3.14*sqr(rn); end else begin if vn=3 then begin rn:=0.0411*sqrt(teks)/2;
sn:=3.14*sqr(rn); end else begin if vn=4 then begin rn:=0.0411*sqrt(teks)/2;
sn:=3.14*sqr(rn); end else begin if vn=5 then begin rn:=0.0386*sqrt(teks)/2;
sn:=3.14*sqr(rn); end else begin rn:=0.0411*sqrt(teks)/2; sn:=3.14*sqr(rn);
end; end; end; end; end; if vnp=1 then begin if vn=1 then begin
ktren:=0.169; end else begin if vn=2 then begin ktren:=0.143; end else
begin if vn=3 then begin ktren:=0.121; end else begin if vn=4 then begin
ktren:=0.152; end else begin if vn=5 then begin ktren:=0.196; end else
begin ktren:=0.159; end; end; end; end; end; end else begin if vn=1 then
begin ktren:=0.27; end else begin if vn=2 then begin ktren:=0.24; end else
begin if vn=3 then begin ktren:=0.2; end else begin if vn=4 then begin

```

```

ktren:=0.25; end else begin if vn=5 then begin ktren:=0.31; end else
begin ktren:=0.26; end; end; end; end; end; end; n:=0; repeat X:=a;
g:=sn-sqr(rad)*arccos((rad-x)/rad)+(rad-x)*sqrt(2*rad*x-sqr(x)); if g>=0 then begin
k:=1; end else begin k:=-1; end; X:=(a+b)/2; g:=sn-sqr(rad)*arccos((rad-
x)/rad)+(rad-x)*sqrt(2*rad*x-sqr(x)); g:=k*g; if g>0 then begin a:=X; end else
begin b:=X; end; n:=n+1; until b-a<e; X1:=format('%10.4f',[X]);
n1:=format('%5.0d',[n]); Memo1.Lines.Add(' h='+X1); Edit5.Text:=n1;
ug:=2*arccos((rad-x)/rad); ktrp:=4*ktren*sin(ug/2)/(ug+sin(ug));
ug1:=format('%10.4f',[ug]); ktrp1:=format('%10.4f',[ktrp]);
ktren1:=format('%10.4f',[ktren]); Memo1.Lines.Add('К трен.='+ktren1);
Memo1.Lines.Add('Кут рад.охоп.='+ug1); Memo1.Lines.Add('К трен.прив.='+ktrp1);
end; procedure TForm3.Button3Click(Sender: TObject); begin
Series1.Add(tekс,'T',clRed); Series2.Add(rad,'R',clGreen);
Series3.Add(m,'Rн',clRed); Series4.Add(sn,'Sn',clBlue); Series5.Add(x,'h',clYellow);
Series6.Add(ktren,'Kt',clYellow); Series7.Add(ktrp,'Ktp',clBlue); end; end.

```

Б2

Програма для визначення значення натягу при взаємодії нитки з напрямною з
використанням зворотних польських записів

```

program PA; uses Forms, NN1 in 'NN1.PAS' {frm1NN1}, NN2 in 'NN2.pas'
{frm1NN2}, NN3 in 'NN3.pas' {frm1NN3}, NN4 in 'NN4.pas' {frm1NN4}, Synt in
'SYNT.PAS', UErrors in 'UERRORS.PAS' {FErrors}; {$R *.res} begin
Application.Initialize; Application.CreateForm(Tfrm1NN1, frm1NN1);
Application.CreateForm(Tfrm1NN2, frm1NN2); Application.CreateForm(Tfrm1NN3,
frm1NN3); Application.CreateForm(Tfrm1NN4, frm1NN4);
Application.CreateForm(TFEErrors, FErrors); Application.Run; end. unit NN1;
interface uses Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms, Dialogs, Math, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls; type Tfrm1NN1 = class(TForm)
btn1NN1: TButton; lbl1NN1: TLabel; lbl2NN1: TLabel; lbl3NN1: TLabel; lbl4NN1:
TLabel; Image1: TImage; procedure btn1NN1Click(Sender: TObject); private {
Private declarations } public { Public declarations } end; var frm1NN1: Tfrm1NN1;

```

```

implementation uses NN2,NN3,NN4; {$R *.dfm} procedure
Tfrm1NN1.btn1NN1Click(Sender: TObject); begin frm1NN1.Hide; frm1NN2.Show;
end; end. unit NN2; interface uses Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
Graphics, Controls, Forms, Dialogs,Math, StdCtrls, Menus, TeEngine, Series,
ExtCtrls, TeeProcs, Chart,Printers; type Tfrm1NN2 = class(TForm) MainMenu1:
TMainMenu; n1NN2: TMenuItem; n2NN2: TMenuItem; n3NN2: TMenuItem; n4NN2:
TMenuItem; n5NN2: TMenuItem; n6NN2: TMenuItem; n7NN2: TMenuItem; n8NN2:
TMenuItem; n9NN2: TMenuItem; n10NN2: TMenuItem; n11NN2: TMenuItem;
n12NN2: TMenuItem; n13NN2: TMenuItem; lbl1NN2: TLabel; lbl2NN2: TLabel;
lbl3NN2: TLabel; lbl4NN2: TLabel; edt1NN2: TEdit; edt2NN2: TEdit; edt3NN2:
TEdit; edt4NN2: TEdit; lbl5NN2: TLabel; Memo1: TMemo; lbl6NN2: TLabel;
mem1NN2: TMemo; cht1NN2: TChart; Series1: TLineSeries; lbl7NN2: TLabel;
edt5NN2: TEdit; procedure btn1NN2Click(Sender: TObject); procedure
n11NN2Click(Sender: TObject); procedure n5NN2Click(Sender: TObject); procedure
n2NN2Click(Sender: TObject); procedure n7NN2Click(Sender: TObject); procedure
n8NN2Click(Sender: TObject); procedure n9NN2Click(Sender: TObject); procedure
n3NN2Click(Sender: TObject); procedure n4NN2Click(Sender: TObject); private {
Private declarations } public { Public declarations } end; var frm1NN2: Tfrm1NN2;
x,F,a,b,e,h,c,R1,kt,d0,d,V1,SS0,SS1,GG0,GG1,USS0,USS1,UGG0,UGG1,L1,L2,L3,kt
p,V1P,L1P,L2P,V11P,L3P:Real; k,code,R11,i:Integer; aa:array[1..50]of Real;
kk,kkk,kkk1:String; w:Integer; implementation uses NN1,Synt,UErrors,NN3,NN4;
{$R *.dfm} procedure v(var F:Real;X,P0,b1,r,E1,B0,FP,a2,b2,R1,d0,kt,V1:Real);
begin SetData('P0',P0); SetData('b1',b1); SetData('r',r); SetData('E1',E1);
SetData('B0',B0); SetData('FP',FP); SetData('a2',a2); SetData('b2',b2);
SetData('R1',R1); SetData('d0',d0); SetData('kt',kt); SetData('V1',V1);
SetData('X',X); Calculate(F); end; procedure Tfrm1NN2.btn1NN2Click(Sender:
TObject); begin frm1NN1.Close; end; procedure Tfrm1NN2.n11NN2Click(Sender:
TObject); begin frm1NN3.Show; end; procedure Tfrm1NN2.n5NN2Click(Sender:
TObject); begin frm1NN1.Close; end; procedure Tfrm1NN2.n2NN2Click(Sender:
TObject); begin frm1NN4.Show; end; procedure Tfrm1NN2.n7NN2Click(Sender:

```



```

TObject); begin Val(edt1NN2.Text,a,code); Val(edt2NN2.Text,b,code);
Val(edt3NN2.Text,e,code); Val(edt4NN2.Text,h,code); for R11:=2 to 28 do begin
R1:=R11/4; i:=R11-1; if (FErrors <> nil) then FErrors.Close; if not
CreatePZ(Memo1.Text) then begin Application.CreateForm(TFEErrors, FErrors);
FEErrors.LBErrors.Items.Assign(ErrorList); FErrors.Show; exit; end; c:=h; k:=0;
x:=a; kt:=a2/exp(b2*ln(P0/R1)); d0:=P0*(R1+r)/(r*P0+E1*b1*sqr(R1+r)); if
d0>1 then d0:=1; d:=d0*exp(kt*FP); if d>1 then d:=1; SS0:=1-d0*sqr(2*r/R1);
SS1:=1-d*sqr(2*r/R1); GG0:=1-(B0/(2*P0*sqr(R1+r))); GG1:=1-
(B0/(2*X*sqr(R1+r))); USS0:=1.57-arctan(SS0/sqrt(1-SS0*SS0)); USS1:=1.57-
arctan(SS1/sqrt(1-SS1*SS1)); UGG0:=1.57-arctan(GG0/sqrt(1-GG0*GG0));
UGG1:=1.57-arctan(GG1/sqrt(1-GG1*GG1)); V1:=FP+USS0+USS1-UGG0-UGG1;
V(F,X,P0,b1,r,E1,B0,FP,a2,b2,R1,d0,kt,V1); w:= Trunc(F/abs(F)); repeat
x:=x+c; if x-c>=b then Break; V(F,X,P0,b1,r,E1,B0,FP,a2,b2,R1,d0,kt,V1); if
F*w/c>0 then Continue; c:=-c/4; if abs(c)>(e/4) then Continue; k:=k+1;
kk:=format('%5.2f',[R1]); kkk:=format('%17.8f',[x]); aa[i]:=x;
mem1NN2.Lines.Add('P('+kk+')='+kkk); c:=h; w:=-w; until False; end;
end; procedure Tfrm1NN2.n8NN2Click(Sender: TObject); begin with Series1 do for
i:=1 to 27 do begin R1:=(i+1)/4; series1.AddXY(R1,aa[i],",clRed); end; end;
procedure V2(var F:Real;X:Real); begin kt:=a2/exp(b2*ln(P0/X));
d0:=P0*(X+r)/(r*P0+E1*b1*sqr(X+r)); if d0>1 then d0:=1; d:=d0*exp(kt*FP); if
d>1 then d:=1; SS0:=1-d0*sqr(2*r/X); SS1:=1-d*sqr(2*r/X); USS0:=1.57-
arctan(SS0/sqrt(1-SS0*SS0)); USS1:=1.57-arctan(SS1/sqrt(1-SS1*SS1));
V1:=FP+USS0+USS1; L1:=X+r; L2:=r*d0; L3:=exp(kt*V1);
ktp:=a2*b2*power(X/P0,b2)/X; L1P:=1; L2P:=r*P0*(((r*P0+E1*b1*sqr(X+r))-
2*E1*b1*sqr(X+r))/sqr(r*P0+E1*b1*sqr(X+r))); V11P:=(4*r/sqr(X))*((L2P-
(L2*2/X))/sqrt(1-sqr(1-4*L2*r/sqr(X)))+exp(kt*FP)*(L2P+L2*(ktp*FP-(2/X)))/sqrt(1-
sqr(1-(4*L2*r*exp(kt*FP)/sqr(X))))); L3P:=exp(kt*V1)*(ktp*V1+kt*V11P);
F:=L3P*sqr(L1)-L1P*L3*L2-L1*L3P*L2+L2P*L1*L3; end; procedure
Tfrm1NN2.n9NN2Click(Sender: TObject); begin a:=0.6; b:=5; e:=0.01; h:=0.1;
c:=h; k:=0; x:=a; V2(F,X); w:= Trunc(F/abs(F)); repeat x:=x+c; if x-

```

```

c>=b then Break;  V2(F,X);  if F*w/c>0 then Continue;  c:=-c/4;  if
abs(c)>(e/4) then Continue;  k:=k+1;  kkk1:=format('%17.8f',[x/2]);
edt5NN2.Text:=(R'+kkk1);  c:=h;  w:=-w;  until False; end; procedure
Tfrm1NN2.n3NN2Click(Sender: TObject);  var Prn:TextFile; k:Integer; begin
AssignPrn(Prn);  Rewrite(Prn);  Printer.Canvas.Font:=mem1NN2.Font;  for k:=0
to mem1NN2.Lines.Count-1 do  WriteLn(Prn,mem1NN2.Lines[k]);
CloseFile(Prn); end; procedure Tfrm1NN2.n4NN2Click(Sender: TObject); begin
cht1NN2.Print; end; end. unit NN3; interface uses  Windows, Messages, SysUtils,
Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  Dialogs,Math, StdCtrls; type
Tfrm1NN3 = class(TForm) lbl1NN3: TLabel; lbl2NN3: TLabel; lbl3NN3: TLabel;
lbl4NN3: TLabel; lbl5NN3: TLabel; btn1NN3: TButton; Label1: TLabel; procedure
btn1NN3Click(Sender: TObject);  private { Private declarations }  public { Public
declarations }  end; var frm1NN3: Tfrm1NN3; implementation uses NN2; {$R
*.dfm} procedure Tfrm1NN3.btn1NN3Click(Sender: TObject); begin frm1NN3.Close;
end; end. unit NN4; interface uses  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
Graphics, Controls, Forms,  Dialogs,Math, StdCtrls; type  Tfrm1NN4 = class(TForm)
lbl2NN4: TLabel; lbl3NN4: TLabel; lbl4NN4: TLabel; lbl5NN4: TLabel; lbl6NN4:
TLabel; lbl7NN4: TLabel; lbl8NN4: TLabel; lbl9NN4: TLabel; edt2NN4: TEdit;
edt3NN4: TEdit; edt4NN4: TEdit; edt5NN4: TEdit; edt6NN4: TEdit; edt7NN4: TEdit;
edt8NN4: TEdit; edt9NN4: TEdit; btn1NN4: TButton; procedure
btn1NN4Click(Sender: TObject);  private { Private declarations }  public { Public
declarations }  end; var frm1NN4: Tfrm1NN4; code:Integer;
P0,b1,r,E1,B0,FP,a2,b2:Real; implementation uses NN2,Synt,UErrors; {$R *.dfm}
procedure Tfrm1NN4.btn1NN4Click(Sender: TObject); begin
val(edt2NN4.Text,P0,code);  val(edt3NN4.Text,b1,code);
val(edt4NN4.Text,r,code);  val(edt5NN4.Text,E1,code);
val(edt6NN4.Text,B0,code);  val(edt7NN4.Text,FP,code);
val(edt8NN4.Text,a2,code);  val(edt9NN4.Text,b2,code);  frm1NN4.Hide; end; end.
unit Synt; interface uses classes; type TData = record  Name: string;  Data:real;
end; NConst: integer = 100; ErrorList: TStringList; PZ: array of integer; DataList:

```

```

array of TData; const MConst = 2; procedure SyntItem(S:string; First:boolean=false;
Pos:Integer=1); function CreatePZ(S:string):boolean; {Расчет по польской записи}
function Calculate(var R:real):boolean; function SetData(Name:string;
Data:real):boolean; function GetData(Name:string; var Data:real):boolean;
implementation uses Sysutils, Math, Dialogs, NN2; type TType = (None, Number,
Divider, Ident, Func, Part, All); TSynt = record mode: TType; Number:real;
Ident:string; Error:boolean; Pos1, Pos2:integer; SetNum: set of char=['0'..'9', ','];
SetDiv: set of char=[';', '(', ')', '=', '+', '-', '/', '*', '^', '{', '}', #13]; SetChar: set of
char=['a'..'z', 'A'..'Z', '_'] NFunc = 10 Functions: array[1..NFunc] of string =
('exp', 'sin', 'cos', 'sqrt', 'abs', 'ln', 'tg', 'arctan', 'arccos', 'sqr'); var SItem: TSynt; TrStack:
array of char; ConstList: array of real; Position: Integer; procedure
SyntItem(S:string; First:boolean=false; Pos:Integer=1); First=true var i:integer; begin if
(S = "") then begin SItem.mode := All; exit; end; Position = if(First) then Position :=
Pos; repeat if (S[Position] = '{') then begin repeat Inc(Position) until (Position >=
Length(S)) or (S[Position] = '}'); Inc(Position); end; if(Position <= Length(S)) then
while ((S[Position] = ' ') or (S[Position] = #13) or (S[Position] = #10) or (S[Position]
= #0)) do Inc(Position); until (S[Position] <> '{'); SItem.Error:=false;
SItem.Pos1:=Position; Position > mode = All if(Position > Length(S)) then begin
SItem.mode := All; exit; end; Ident SItem.Ident := S[Position]; if (S[Position] in
SetChar) then SItem.mode := Ident else if (S[Position] in SetNum) then Item.mode :=
Number else if (S[Position] in SetDiv) then if (S[Position] <> ';') then SItem.mode :=
Divider else SItem.mode := Part Inc(Position); exit; end else begin SItem.mode :=
None; Inc(Position); exit; end Inc(Position); if (SItem.mode = Number) and
((S[Position] = '-') or (S[Position] = '+')) and (UpCase(S[Position-1])='E') then
SItem.Ident := SItem.Ident + S[Position] else if ((Position > Length(S)) or (S[Position]
in SetDiv)) then begin if (SItem.mode = Number) then try SItem.Number :=
StrToFloat(SItem.Ident) except on EConvertError do SItem.Error := true; end; for
i:=1 to NFunc do if (LowerCase(SItem.Ident) = Functions[i]) then begin
SItem.mode:=Func; SItem.Number:=i; break; end; SItem.Pos2:=Position-1; exit;
end else SItem.Ident := SItem.Ident + S[Position]; until false; end; procedure ClearPZ;

```

```

begin ErrorList.Clear; SetLength(ConstList,0); SetLength(DataList,MConst);
SetLength(PZ,0); end; function CreatePZ(S:string):boolean; var lend:boolean; i:integer;
Assign:boolean; Adress: integer; OldMode: TType; OldS: char; procedure code; begin
SetLength(PZ,High(PZ)+2); case TrStack[High(TrStack)] of '+': PZ[High(PZ)] := -1;
'-': PZ[High(PZ)] := -2; '*': PZ[High(PZ)] := -3; '/': PZ[High(PZ)] := -4; '^':
PZ[High(PZ)] := -5; 'M': PZ[High(PZ)] := -6; end; end; procedure proc1; begin
SetLength(TrStack,High(TrStack)+2); TrStack[High(TrStack)] := SItem.Ident[1]; end;
procedure proc2; begin code; TrStack[High(TrStack)] := SItem.Ident[1]; end;
procedure proc3; begin code; SetLength(TrStack,High(TrStack)); lend:=false; end;
procedure proc4; begin SetLength(TrStack,High(TrStack)); end; procedure proc5; //
Аналог proc1 для функций begin SetLength(TrStack,High(TrStack)+2);
TrStack[High(TrStack)] := Chr(127+Round(SItem.Number)); end; procedure proc6; //
Аналог proc3 для функций begin SetLength(PZ,High(PZ)+2); PZ[High(PZ)] := -
Ord(TrStack[High(TrStack)]+27; SetLength(TrStack,High(TrStack)); end; begin
ClearPZ; SetLength(TrStack,1); TrStack[0] := '0'; OldMode := None; OldS := '';
Assign := true; Adress := 0; // Чтение первой лексемы SyntItem(S,true); if
(SItem.mode = All) then begin ErrorList.Add(); Result := false; exit; end;
repeat if ((OldMode = Func)and(SItem.Ident[1] <> '(')) then
ErrorList.Add('+IntToStr(SItem.Pos1)); case SItem.mode of Number: begin
if((OldMode <> Divider)and(OldMode <> None)and (OldMode <> Part)) then
ErrorList.Add('+IntToStr(SItem.Pos1)+'); if (SItem.Error) then ErrorList.Add(
'+IntToStr(SItem.Pos1)+ ' - '+IntToStr(SItem.Pos2)) else begin
SetLength(ConstList,High(ConstList)+2); ConstList[High(ConstList)] :=
SItem.Number; SetLength(PZ,High(PZ)+2); PZ[High(PZ)] := High(ConstList);
end; Assign:=false; end; Ident: begin if((OldMode <> Divider)and(OldMode
<> None)and (OldMode <> Part)) then ErrorList.Add('В позиции
'+IntToStr(SItem.Pos1)+'); for i:=0 to High(DataList) do begin if
(UpperCase(SItem.Ident) = DataList[i].Name) then begin
SetLength(PZ,High(PZ)+2); PZ[High(PZ)] := NConst+i; break; end; if(i =
High(DataList)) then begin SetLength(DataList,High(DataList)+2);

```

```

DataList[High(DataList)].Name:=UpperCase(SItem.Ident);
DataList[High(DataList)].Data:=0;  SetLength(PZ,High(PZ)+2);  PZ[High(PZ)] :=
NConst+High(DataList);  end;  end;  end;  All,Part:begin  repeat  lend:=true;
case TrStack[High(TrStack)] of  '0': begin  if (Adress <> 0) then begin
SetLength(PZ,High(PZ)+3);  PZ[High(PZ)-1] := -7;  PZ[High(PZ)] := Adress;
Adress := 0;  end;  break;  end;  '(': ErrorList.Add(');  else proc3;  end;  until
lend;  if (ErrorList.Count = 0)  then Result:=true  else Result:=false;  if
(SItem.mode = All) then exit  else begin  Assign := true;  SItem.mode := None;
end  end;  Divider:begin  if((OldMode = Divider)and  ((SItem.Ident[1]<>'=')and
(SItem.Ident[1]<>'(')and  (SItem.Ident[1] <> ')'))and  ((OldS <> '(')and  (OldS
<> ')')and  (OldS <> '=')))  then begin  ErrorList.Add(' '+IntToStr(SItem.Pos1)+
');  break;  end;  repeat  lend:=true;  case SItem.Ident[1] of  '=': if Assign
and (OldMode = Ident)  then begin  Adress := PZ[High(PZ)];
SetLength(PZ,High(PZ));  SItem.mode := None;  end  else ErrorList.Add('
'+IntToStr(SItem.Pos1)+  ': ');  '(': if(OldMode = Ident) or (OldMode = Number)
then ErrorList.Add(' '+IntToStr(SItem.Pos1))  else proc1;  '+','-', 'M': begin
if((OldMode = None)or(OldS = '('))  then if (SItem.Ident[1] = '+' then break  else
SItem.Ident[1] := 'M';  case TrStack[High(TrStack)] of  '0','(': proc1;  '+','-', 'M':
proc2;  '*', '/', '^': proc3;  end;  end;  '*', '/':  if OldS = '('  then
ErrorList.Add(' '+IntToStr(SItem.Pos1))  else  case TrStack[High(TrStack)] of
'0','(','+', '-', 'M': proc1;  '*', '/': proc2;  '^': proc3;  end;  '^':  if OldS = '('  then
ErrorList.Add(' '+IntToStr(SItem.Pos1))  else  case TrStack[High(TrStack)] of
'0','(','+', '-', '*', '/', 'M': proc1;  '^': proc2;  end;  ')':  case TrStack[High(TrStack)]
of  '0': ErrorList.Add(');  '(': begin  proc4;  if (Ord(TrStack[High(TrStack)]) >
127)  then proc6;  end;  '+','-', '*', '/', '^', 'M': proc3;  end;  end;  until lend;
Assign:=false;  end;  Func: begin  repeat  lend:=true;  proc5  until lend;
Assign:=false;  end;  None: ErrorList.Add(' '+IntToStr(SItem.Pos1));  end;
OldMode := SItem.mode;  OldS := SItem.Ident[1];  SyntItem(S);  until false;
if(ErrorList.Count = 0) then Result := true  else Result := false; end;  function
Calculate(var R:real):boolean; var Stack: array of real; i:integer; begin  for i:=0 to

```

```

High(PZ) do begin  if (i > 0) then if (PZ[i-1] = -7) and (i < High(PZ)) then Continue;
if PZ[i] < -100 then begin try  case -PZ[i]-100 of  1:
Stack[High(Stack)]:=Exp(Stack[High(Stack)]);  2:
Stack[High(Stack)]:=Sin(Stack[High(Stack)]);  3:
Stack[High(Stack)]:=Cos(Stack[High(Stack)]);  4:
Stack[High(Stack)]:=Sqrt(Stack[High(Stack)]);  5:
Stack[High(Stack)]:=Abs(Stack[High(Stack)]);  6:
Stack[High(Stack)]:=Ln(Stack[High(Stack)]);  7:
Stack[High(Stack)]:=Tan(Stack[High(Stack)]);  8:
Stack[High(Stack)]:=ArcTan(Stack[High(Stack)]);  9:
Stack[High(Stack)]:=ArcCos(Stack[High(Stack)]);  10:
(FloatToStr(Stack[High(Stack)]) = 'INF') or  (FloatToStr(Stack[High(Stack)]) = '-INF')
then begin  Result := false;  exit;  end end else if PZ[i] < 0 then begin try  case -PZ[i]
of  1: Stack[High(Stack)-1]:= Stack[High(Stack)-1]+Stack[High(Stack)];  2:
Stack[High(Stack)-1]:= Stack[High(Stack)-1]-Stack[High(Stack)];  3:
Stack[High(Stack)-1]:= Stack[High(Stack)-1]*Stack[High(Stack)];  4:
Stack[High(Stack)-1]:= Stack[High(Stack)-1]/Stack[High(Stack)];  5:
Stack[High(Stack)-1]:= Power(Stack[High(Stack)-1],Stack[High(Stack)]);  6:
Stack[High(Stack)]:= -Stack[High(Stack)];  7: DataList[PZ[i+1]-NConst].Data :=
Stack[High(Stack)]; end; except Result := false; exit; end; if (PZ[i] <> -6) then
SetLength(Stack,High(Stack)); end else begin  SetLength(Stack,High(Stack)+2); if
(PZ[i] < NConst) then Stack[High(Stack)]:=ConstList[PZ[i]] else
Stack[High(Stack)]:=DataList[PZ[i]-NConst].Data; end; end; Result := true; R
:=Stack[High(Stack)]; end; function SetData(Name:string; Data:real):boolean; var
i:integer; begin  for i:=MConst to High(DataList) do  if (UpperCase(Name) =
DataList[i].Name) then begin DataList[i].Data := Data; Result:=true; exit;  end;
Result := false; end; function GetData(Name:string; var Data:real):boolean; var
i:integer; begin  for i:=0 to High(DataList) do  if (UpperCase(Name) =
DataList[i].Name) then begin Data := DataList[i].Data; Result:=true; exit;  end;
Result := false; end; initialization  SetLength(DataList,MConst);

```

```
DataList[0].Name:='PI'; DataList[0].Data:=Pi; DataList[1].Name:='E';
DataList[1].Data:=2.71828183; ErrorList := TStringList.Create; finalization
ErrorList.Free; end. unit UErrors; interface uses Windows, Messages, SysUtils,
Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, StdCtrls; type TFEErrors =
class(TForm) LBErrors: TListBox; private { Private declarations } public { Public
declarations } end; var FEErrors: TFEErrors; implementation uses NN2; {$R *.dfm}
end.
```

Додаток В

В1

Копії патентів



(11) **117290**(19) **UA**(51) МПК (2017.01)
D05B 47/00(21) Номер заявки: **u 2016 13188**(22) Дата подання заявки: **23.12.2016**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **26.06.2017**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **26.06.2017, Бюл. № 12**

(72) Винахідники:

**Щербань Володимир
Юрійович, UA,
Мурза Назар Іванович, UA,
Кириченко Антон
Миколайович, UA,
Колиско Оксана Зенонівна,
UA,
Шолудько Мар'яна Ігорівна,
UA**

(73) Власник:

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ
ТА ДИЗАЙНУ,
вул. Немировича-Данченка, 2,
м. Київ-11, 01601, UA**

(54) Назва корисної моделі:

КОМПЕНСАТОР НАТЯГУ

(57) Формула корисної моделі:

Компенсатор натягу, що містить трубку з синтетичного матеріалу, який відрізняється тим, що оснащений станиною з горизонтальним пазом, додатковою трубкою з синтетичного матеріалу, телескопічно з'єднаною з трубкою, двома хомутами, перший з яких встановлений на кінці трубки та жорстко з'єднаний зі станиною, а другий встановлений на кінці додаткової трубки, штирем, закріпленим на другому хомуті, гвинтовою парою, що містить гайку, жорстко закріплену на станині, повзуном, розташованим в горизонтальному пазу станини та кінематично пов'язаним з гвинтовою парою, двома кронштейнами, закріпленими на хомутах, та двома направляючими циліндричними роликами з підшипниками, встановленими на кронштейнах.

г. 3680



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117290** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
D05B 47/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2016 13188</p> <p>(22) Дата подання заявки: 23.12.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.06.2017</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.06.2017, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Щербань Володимир Юрійович (UA), Мурза Назар Іванович (UA), Кириченко Антон Миколайович (UA), Колиско Оксана Зенонівна (UA), Шолудько Мар'яна Ігорівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ-11, 01601 (UA)</p>
--	--

(54) КОМПЕНСАТОР НАТЯГУ**(57) Реферат:**

Компенсатор натягу містить трубку з синтетичного матеріалу. Оснащений станиною з горизонтальним пазом, додатковою трубкою з синтетичного матеріалу, телескопічно з'єднаною з трубкою, двома хомутами, перший з яких встановлений на кінці трубки та жорстко з'єднаний зі станиною, а другий встановлений на кінці додаткової трубки, штирем, закріпленим на другому хомуті, гвинтовою парою, що містить гайку, жорстко закріплену на станині, повзуном, розташованим в горизонтальному пазу станини та кінематично пов'язаним з гвинтовою парою, двома кронштейнами, закріпленими на хомутах, та двома направляючими циліндричними роликами з підшипниками, встановленими на кронштейнах.

UA 117290 U

UA 117290 U

Корисна модель належить до легкої та текстильної промисловості, зокрема компенсаторів натягу.

Відомий компенсатор натягу [Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / В.Н. Гарбарук. - Л.: Машиностроение, 1980. - С. 340, рис. 21.8], що містить циліндр, на кінцях якого жорстко закріплені два диски з отворами для нитки. На осі циліндра закріплений підпружинений кронштейн, який може обертатися навколо осі при зміні вихідного натягу нитки.

Відомий компенсатор натягу дозволяє забезпечити необхідний натяг для реалізації технологічного процесу, але даний пружинний компенсатор натягу пальцевого типу має суттєві недоліки. При проходженні вузлів, шишок та локальних потовщень через отвори в дисках та отвір в кронштейні відбувається різке збільшення натягу за рахунок ударної дії, яка призводить до обриву нитки. За рахунок інерції підпружиненого кронштейна даний пружинний компенсатор натягу пальцевого типу не дозволяє компенсувати зміну натягу нитки. Крім цього різке збільшення натягу призводить до порушення нормального протікання технологічного процесу переробки нитки.

Відомий також компенсатор натягу [пат. України № 20Ю3А, В65Н 57/00, D04В 15/14, 1997 р.], що містить вигнуту трубку з синтетичного матеріалу. Ця трубка має прямолінійні та криволінійні ділянки.

Однак діапазон коливання натягу ниток на трикотажному та швейному обладнанні складає 15-30 сН і цієї сили недостатньо для деформації гофрованої ділянки і корекції вихідного натягу. А при проходженні вузлів, шишок та локальних потовщень нитки відбувається їх контакт з виступами гофрованої ділянки, що призводить до різкого збільшення натягу за рахунок ударної дії між ними, а потім і до обриву нитки. Все це звужує область використання пристрою.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити такий компенсатор натягу, в якому введенням нових елементів та їх зв'язків, забезпечилось би розширення області використання пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що компенсатор натягу, що містить трубку з синтетичного матеріалу, згідно з корисною моделлю, оснащений станиною з горизонтальним пазом, додатковою трубкою з синтетичного матеріалу, телескопічно з'єднаною з трубкою, двома хомутами, перший з яких встановлений на кінці трубки та жорстко з'єднаний зі станиною, а другий встановлений на кінці додаткової трубки, штирем, закріпленням на другому хомуті, гвинтовою парою, що містить гайку, жорстко закріплену на станині, повзунком, розташованим в горизонтальному пазу станини та кінематично пов'язаним з гвинтовою парою, двома кронштейнами, закріпленнями на хомутах, та двома направляючими циліндричними роликками з підшипниками, встановленими на кронштейнах.

Оснащення компенсатора натягу станиною з горизонтальним пазом, додатковою трубкою з синтетичного матеріалу, телескопічно з'єднаною з трубкою, двома хомутами, перший з яких встановлений на кінці трубки та жорстко з'єднаний зі станиною, а другий встановлений на кінці додаткової трубки, штирем, закріпленням на другому хомуті, гвинтовою парою, що містить гайку, жорстко закріплену на станині, повзунком, розташованим в горизонтальному пазу станини та кінематично пов'язаним з гвинтовою парою, двома кронштейнами, закріпленнями на хомутах, та двома направляючими циліндричними роликками з підшипниками, встановленими на кронштейнах, забезпечує, за рахунок підвищення чутливості, виключення обриву нитки та стрибкоподібного збільшення натягу при високих швидкостях руху нитки і, як наслідок, розширення області використання пристрою.

Корисна модель представлена на кресленні.

Компенсатор натягу містить трубку 1 з синтетичного матеріалу, станину 2 з горизонтальним пазом 3, додаткову трубку 4 з синтетичного матеріалу, телескопічно з'єднану з трубкою 1, два хомути 5 і 6, перший з яких встановлений на кінці трубки 1 та жорстко з'єднаний зі станиною 2, а другий встановлений на кінці додаткової трубки 4, штир 7, закріпленням на другому хомуті 6, гвинтову пару 8, що містить гайку 9, жорстко закріплену на станині 2, повзун 10, розташований в горизонтальному пазу 3 станини 2 та кінематично пов'язаний з гвинтовою парою 8, два кронштейни 11, що закріплені на хомутах 5 і 6, та два направляючі циліндричні роликки з підшипниками 12, що встановлені на кронштейнах 11 для транспортування нитки 13.

Компенсатор натягу працює наступним чином. Нитка 13 огинає направляючий циліндричний ролик з підшипником 12, що встановлений на хомуті 5, і проходить в телескопічно з'єднаних синтетичних трубках 1, 4 з низькими фрикційними властивостями, потім на виході з трубки 4 огинає направляючий циліндричний ролик з підшипником 12, що встановлений на хомуті 6, і надходить в зону переробки. При коливанні вхідного натягу нитки 13 за рахунок пружних сил матеріалу трубок 1, 4 відбувається відносне переміщення в телескопічному з'єднанні, за рахунок чого змінюється кут охоплення ниткою 13 поверхні трубок 1, 4 і натяг стабілізується.

UA 117290 U

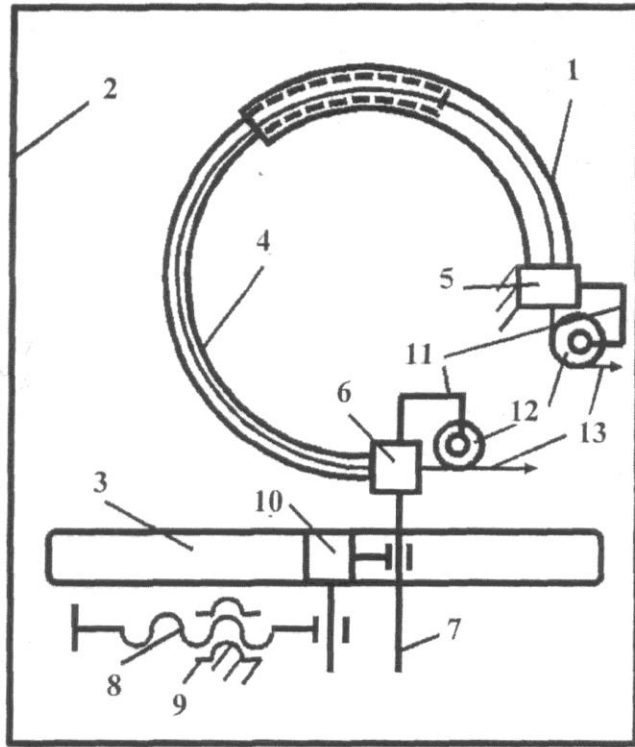
5 При необхідності зміни величини натягу, за допомогою гвинтової пари 8 регулюється положення повзуна 10 в горизонтальному пазу 3, за рахунок чого хомут 6 на синтетичній трубці 4 змінює своє положення відносно нерухомої станини 2. Це призводить до зміни кута охоплення ниткою 13 поверхні трубок 1, 4 з низькими фрикційними властивостями і, як наслідок, до зміни натягу нитки 13.

10 Використання запропонованого компенсатора натягу дозволяє розширити область використання за рахунок підвищення чутливості пристрою і виключити стрибкоподібне збільшення натягу при високих швидкостях руху нитки, що з'являється за рахунок ударного впливу при проходженні вузлів, шишок або локальних потовщень і, як наслідок, виключити обрив нитки. Це дозволить значно підвищити продуктивність технологічного устаткування за рахунок зниження часу простоїв для ліквідації обриву й підвищити якість продукції, що випускається.

15 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

15 Компенсатор натягу, що містить трубку з синтетичного матеріалу, який відрізняється тим, що оснащений станиною з горизонтальним пазом, додатковою трубкою з синтетичного матеріалу, телескопічно з'єднаною з трубкою, двома хомутами, перший з яких встановлений на кінці трубки та жорстко з'єднаний зі станиною, а другий встановлений на кінці додаткової трубки, штирем, закріпленим на другому хомуті, гвинтовою парою, що містить гайку, жорстко закріплену на станині, повзуном, розташованим в горизонтальному пазу станини та кінематично пов'язаним з гвинтовою парою, двома кронштейнами, закріпленими на хомутах, та двома направляючими циліндричними роликками з підшипниками, встановленими на кронштейнах.

UA 117290 U



Комп'ютерна верстка М. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

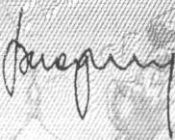
№ 117289

НИТКОНАТЯГУВАЧ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **26.06.2017**.

Директор департаменту інтелектуальної
власності Міністерства економічного
розвитку і торгівлі України

 В.О. Жалдак



(11) **117289**(19) **UA**(51) МПК (2017.01)
D05B 47/00

- | | |
|--|---|
| <p>(21) Номер заявки: u 2016 13187</p> <p>(22) Дата подання заявки: 23.12.2016</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.06.2017</p> <p>(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 26.06.2017, Бюл. № 12</p> | <p>(72) Винахідники:
Щербань Володимир Юрійович, UA,
Мурза Назар Іванович, UA,
Кириченко Антон Миколайович, UA,
Колиско Оксана Зенонівна, UA,
Шолудько Мар'яна Ігорівна, UA</p> <p>(73) Власник:
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ,
вул. Немировича-Данченка, 2,
м. Київ-11, 01601, UA</p> |
|--|---|

(54) Назва корисної моделі:

НИТКОНАТЯГУВАЧ

(57) Формула корисної моделі:

Нитконатягувач, що містить циліндр та два диски, закріплені на ньому, який відрізняється тим, що оснащений притискною муфтою, закріпленою на одному з дисків з можливістю зворотно-поступального переміщення та обертання відносно осі циліндра, регулюючим гвинтом, встановленим на притискній муфті, двома кронштейнами, закріпленими на дисках, та направляючими роликами з підшипниками, встановленими в кронштейни.

9. 36 90



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117289** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
D05B 47/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2016 13187	(72) Винахідник(и): Щербань Володимир Юрійович (UA), Мурза Назар Іванович (UA), Кириченко Антон Миколайович (UA), Колиско Оксана Зенонівна (UA), Шолудько Мар'яна Ігорівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 23.12.2016	(73) Власник(и): КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ-11, 01601 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.06.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.06.2017, Бюл.№ 12	

(54) НИТКОНАТЯГУВАЧ**(57) Реферат:**

Нитконатягувач містить циліндр та два диски, закріплені на ньому. Оснащений притисною муфтою, закріпленою на одному з дисків з можливістю зворотно-поступального переміщення та обертання відносно осі циліндра, регулюючим гвинтом, встановленим на притисній муфті, двома кронштейнами, закріпленими на дисках, та направляючими роликами з підшипниками, встановленими в кронштейни.

UA 117289 U

UA 117289 U

Корисна модель належить до легкої та текстильної промисловості, зокрема до нитконатягувачів.

Відомий нитконатягувач [Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин /В.Н. Гарбарук. - Л.: Машиностроение, 1980. - 472 с.], що включає п'ять циліндричних стрижнів, які послідовно огинає нитка, жорстко закріплених на станині, а їх осі паралельні між собою.

Однак жорстке закріплення циліндричних стрижнів виключає можливість корегування вихідного натягу нитки при зміні асортименту продукції, що призводить до порушення проходження технологічного процесу і, як наслідок, звужує область використання обладнання.

Відомий також нитконатягувач [Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин /В.Н. Гарбарук. - Л.: Машиностроение, 1980. - С. 331], що містить циліндр та два диски, закріплені на ньому. Крім цього кожен диск має отвір для проходження нитки. Натяг нитки після нитконатягувача дорівнює

$$P_1 = P_0 e^{2k \sin \vartheta},$$

де P_1 - натяг нитки після нитконатягувача;

P_0 - натяг нитки до нитконатягувача;

k - кількість повних обертів нитки навколо циліндра;

ϑ - кут нахилу вісі нитки до образуючої циліндра.

Однак незмінна відстань між двома дисками, яка дорівнює довжині утворюючої циліндра, не дозволяє змінювати величину кута ϑ , а це в свою чергу не дозволяє здійснювати корегування вихідного натягу нитки при зміні асортименту продукції і, як наслідок, звужує область використання обладнання.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити такий нитконатягувач, в якому введенням нових елементів та їх зв'язків, забезпечилось би розширення області використання пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що нитконатягувач, що містить циліндр та два диски, закріплені на ньому, згідно з корисною моделлю, оснащений притисочною муфтою, закріпленою на одному з дисків з можливістю зворотно-поступального переміщення та обертання відносно осі циліндра, регулюючим гвинтом, встановленим на притисочній муфті, двома кронштейнами, закріпленими на дисках, та направляючими роликами з підшипниками, встановленими в кронштейни.

Оснащення нитконатягувача притисочною муфтою, закріпленою на одному з дисків з можливістю зворотно-поступального переміщення та обертання відносно осі циліндра, регулюючим гвинтом, встановленим на притисочній муфті, двома кронштейнами, закріпленими на дисках, та направляючими роликами з підшипниками, встановленими в кронштейни, забезпечує виключення стрибкоподібного збільшення натягу при високих швидкостях руху нитки, що з'являється за рахунок ударного впливу при проходженні вузлів, шишок або локальних потовщень через нитконатягувач і, як наслідок, забезпечує можливість корегувати вихідний натяг нитки при зміні асортименту продукції, що в свою чергу забезпечує розширення області використання пристрою.

Корисна модель представлена на кресленні.

Нитконатягувач містить циліндр 1 та два диски 2, закріплені на ньому, притисочну муфту 3, закріплену на одному з дисків 2 з можливістю зворотно-поступального переміщення та обертання відносно осі циліндра 1, регулюючий гвинт 4, встановлений на притисочній муфті 3, два кронштейна 5, закріплені на дисках 2, та направляючі ролики з підшипниками 6, що встановлені в кронштейни 5, для транспортування нитки 7.

Нитконатягувач працює наступним чином. Нитка 7 послідовно огинає встановлений на одному кронштейні 5 правий направляючий ролик з підшипником 6, бокову поверхню циліндра 1 та встановлений на другому кронштейні 5 лівий направляючий ролик з підшипником 6 та надходить в зону в'язання. При необхідності зменшення вихідного натягу нитки 7, за допомогою регулюючого гвинта 4, вивільняється притисочна муфта 3 і правий диск 2 зсувається відносно осі циліндра 1 вправо та обертається навколо осі циліндра 1 проти годинникової стрілки. При необхідності збільшення вихідного натягу нитки 7, за допомогою регулюючого гвинта 4, вивільняється притисочна муфта 3 і правий диск 2 зсувається відносно осі циліндра 1 вліво та обертається навколо осі циліндра 1 за годинниковою стрілкою.

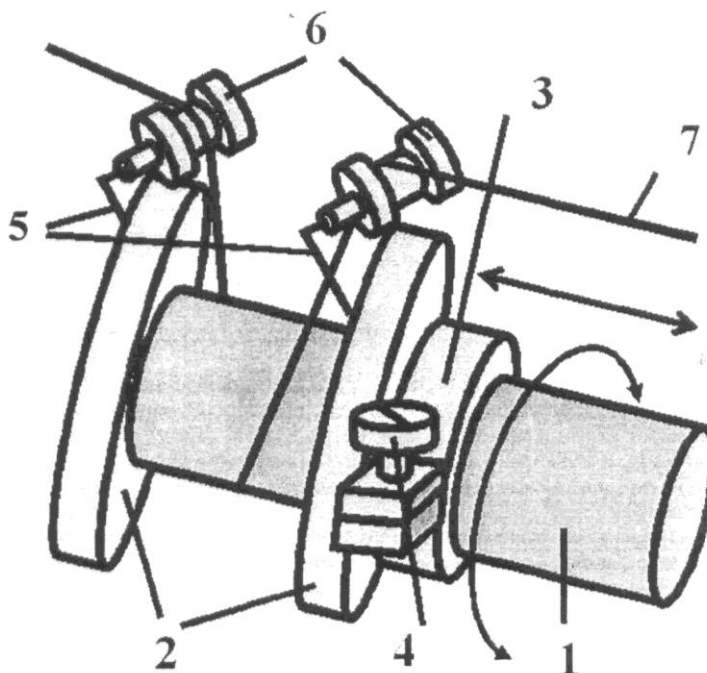
Запропонований нитконатягувач дозволяє розширити область використання за рахунок виключення стрибкоподібного збільшення натягу при високих швидкостях руху нитки, що з'являється за рахунок ударного впливу при проходженні вузлів, шишок або локальних потовщень через пальцевий нитконатягувач і, як наслідок, виключити обрив нитки та забезпечити можливість корегування вихідного натягу нитки при зміні асортименту продукції. Це

UA 117289 U

дозволить значно підвищити продуктивність технологічного устаткування за рахунок зниження часу простоїв для ліквідації обриву й підвищити якість продукції, що випускається.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 Нитконатягувач, що містить циліндр та два диски, закріплені на ньому, який відрізняється тим, що оснащений притисною муфтою, закріпленою на одному з дисків з можливістю зворотно-поступального переміщення та обертання відносно осі циліндра, регулюючим гвинтом, встановленим на притисній муфті, двома кронштейнами, закріпленими на дисках, та
- 10 направляючими роликами з підшипниками, встановленими в кронштейни.



Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

Додаток Г

Г1



ДП «Датський текстиль»
Львівська область, м. Сокаль 80000, вул. Чайковського, 1
тел./факс: (03257)7-20-11, тел.: (03257)7-20-22, 7-20-19

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ДП «Датський текстиль»
«2» листопада 2020 р.
Йорген Седерхолм

А К Т

про впровадження результатів кваліфікаційної наукової праці на здобуття наукового ступеня доктор філософії Кириченко Антона Миколайовича на тему «Удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу»

Ми, представники ДП «Датський текстиль» в особі директора Йоргена Седерхолма та Київського національного університету технологій та дизайну в особі завідувача кафедрою комп'ютерних наук та технологій лауреата Державної премії України в галузі науки та техніки, д.т.н., професора В.Ю. Щербаня, пошукача, магістра комп'ютерних наук А.М. Кириченко, склали цей акт впровадження науково-дослідної роботи, виконаної магістром комп'ютерних наук Кириченко А.М. по удосконаленню технологічних процесів в'язання трикотажних полотен з бавовняної пряжі з додаванням поліестеру та лайкри на високопродуктивних круглов'язальних машинах компаній «Mayer&Cie», «Terrot», «Pailung», «Keum Yong» на основі стабілізації натягу пряжі в робочій зоні при формуванні трикотажного полотна.

Результати науково-дослідної роботи пошукача Кириченко А.М., які викладені в 16 статтях (Fibres and Textiles. – 2019. – volume 26 - № 4; Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10.- Number 2.; Intellectual Archive, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1.; Вісник ХНУ.- 2016.-№6(243).; Вісник ХНУ.- 2017.-№1(245).; Вісник ХНУ.- 2017.-№6(255).; Вісник ХНУ.- 2018.-№1 (257).; Вісник ХНУ.- 2018.-№ 3(261). Вісник ХНУ.- 2018.-№ 2 (259).; Вісник ХНУ.- 2018.-№ 4 (263).), 7 тезах доповідей та 2 патентах України (патент 117290 UA; патент 117289 UA) дозволили визначити величину технологічних зусиль виникаючих у нитках та пряжі при її переробці в робочій зоні круглов'язальних машин, що дозволило зменшити величину натягу до мінімально необхідного. Це дозволило отримати технологічний ефект:

знизити обривність ниток та пряжі на 4-12% та підвищити показники якості трикотажних полотен на 10-15% за рахунок зменшення вирізки дефектних ділянок та стабілізації петельної форми.

Основні характеристики трикотажних полотен наведені в таблиці

№№ пп	Трикотажні полотна	Склад	Щільність, г/м ²	Вартість, грн/кг
1	Інтерлок Milano	60% бавовна, 35% поліестер, 5% лайкра	270-290	315.5
2	Полотно кулірне	100 % бавовна	210-220	231
3	Велюр гладкофарбований	75% бавовна, 25% поліестер	180-230	320
4	Трикотаж махровий	80% бавовна, 20% поліестер	210	228
5	Резинка	90% бавовна, 10 % лайкра	290-320	257

Очікуваний економічний ефект від впровадження результатів науково-дослідної роботи за рахунок зниження обривності та підвищення якості трикотажних полотен по ДП "Датський текстиль" складає 192 тис. грн. на рік.

Від Київського національного університету технологій та дизайну

Лауреат Державної премії України
в галузі науки та техніки, завідувач
кафедрою КНТ, д.т.н., професор


Пошукач



В.Ю.Щербань

А.М.Кириченко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової та інноваційної діяльності
Київського національного університету
технологій та дизайну
проф.  Л.М. Ганушак-Єфіменко
« 19 » _____ 2020 р.

А К Т

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Кириченка Антона Миколайовича в навчальний процес кафедри
Комп'ютерних наук та технологій (КНТ) Київського
національного університету технологій та дизайну (КНУТД)

Комісія у складі в.о. декана факультету мехатроніки та комп'ютерних технологій к.т.н., доцента Чупринка Наталії Вікторівни, завідувача кафедрою комп'ютерних наук та технологій, лауреата Державної премії України в галузі науки та техніки, д.т.н., професора Щербаня Володимира Юрійовича, д.ф.-м.н., професора кафедри комп'ютерних наук та технологій Краснитського Сергія Михайловича та здобувача кафедри комп'ютерних наук та технологій Кириченка Антона Миколайовича засвідчила, що результати дисертаційної роботи Кириченка А.М. щодо удосконалення системи подачі нитки круглов'язальних машин великого діаметру на основі стабілізації натягу впроваджено у навчальний процес кафедри комп'ютерних наук та технологій (КНТ) Київського національного університету технологій та дизайну (КНУТД) в дисциплінах «CAD/CAM/CAE системи легкої промисловості», «Автоматизоване проектування виробничих процесів», «Математичне моделювання об'єктів макро і мікрорівня» при підготовці фахівців галузі знань 12 – інформаційні технології за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки.

Голова комісії

 к.т.н., доцент Н.В.Чупринка

Члени комісії

 д.т.н., професор В.Ю.Щербань

 д.ф.-м.н., професор С.М.Краснитський

 здобувач А.М. Кириченко

Додаток Д

Д1

Список публікацій здобувача

1. Shcherban' V., Makarenko J., Melnyk G., Shcherban' Y., Petko A., Kirichenko A. Effect of the yarn structure on the tension degree when interacting with high-curved guides/ V. Shcherban', J. Makarenko, G. Melnyk, Y. Shcherban', A. Petko, A. Kirichenko // *Fibres and Textiles*. – 2019. – volume 26 - № 4 – pp. 59-68.
2. Scherban V. Basic parameters of curvature and torsion of the deformable thread in contact with runner/V. Scherban, N.Murza, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sholudko // *Intellectual Archive*, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – Nov/Des – 2016. – Volume 10.- Number 2. – P. 18-23 .
3. Scherban V. Equalizations of dynamics of filament interactive with surface/V. Scherban, G. Melnik, A.Kirichenko, O. Kolisko, M. Sheludko//*Intellectual Archive*, Toronto: Shiny World Corp., Richmond Hill, Ontario, Canada. – January/February 2017. – Volume 6.- Number 1. – P. 22-26.
4. Щербань В.Ю. Порівняльний аналіз роботи нитконатягувачів текстильних машин/ В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//*Вісник ХНУ*.- 2016.-№6(243). - с.18-21.
5. Щербань В.Ю. Ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько //*Вісник ХНУ*.- 2017.-№1(245). - с.83-86.
6. Щербань В.Ю. Визначення приведенного коефіцієнту тертя для кільцевих та трубчатих спрямовувачів нитки трикотажних машин/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//*Вісник ХНУ*.- 2017.-№6(255). - С.23-27 .
7. Щербань В.Ю. Визначення натягу нитки при її взаємодії з трубчастими спрямовувачами/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько//*Вісник ХНУ*.- 2018.-№1 (257). - С.213-217 .
8. Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для визначення натягу ниток в робочій зоні технологічного обладнання/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза,

А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 3(261). - С.7-11 .

9. Щербань В.Ю. Взаємодія текстильних ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/В.Ю.Щербань, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, Г.В. Мельник, М.І.Шолудько//Вісник ХНУ.- 2018.-№ 2 (259). - С.12-16.

10. Щербань В.Ю. Удосконалення системи подачі ниток на основі оптимізації пружної системи заправки круглов'язальних машин/В.Ю.Щербань, Г.В. Мельник, Н.І.Мурза, А.М. Кириченко, М.І.Шолудько //Вісник ХНУ.- 2018.- № 4 (263). - С.11-16.

11. Щербань В.Ю., Андрущенко В.В., Кириченко А.М. Алгоритмічні та програмні компоненти САПР пристрою на основі механізму Уата та його застосування в машинах легкої промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:КНУТД. - 2016. - С.19-22.

12. Щербань В.Ю., Довгопол О.М., Кириченко А.М. Алгоритмічні та програмні компоненти САПР пристрою на основі механізму Еванса та його застосування в машинах легкої промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:КНУТД. - 2016. – С.24-27.

13. Кириченко А.М. Удосконалення конструкції нитконатягувачів снувальних машин на основі стабілізації/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2017. – С.17-20.

14. Кириченко А.М. Математичні компоненти САПР спрямовувачів та робочих органів технологічного устаткування легкої та текстильної промисловості/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві:

Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2018. - С.22-26.

15. Кириченко А.М. Використання рекурсивного підходу для розрахунку натягу ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2019. – С.15-18.

16. Кириченко А.М. Математичне забезпечення при реалізації процесу стабілізації натягу / Інформаційні технології в науці, виробництві та підприємстві: Збірник наукових праць молодих вчених, аспірантів, магістрів кафедри інформаційних технологій проектування/загал.наук.ред. В.Ю.Щербань – К.:Освіта України. - 2020. – С.11-14.

17. Патент 117290 UA, МКИ D05B 47/00/ Компенсатор натягу/ Щербань В.Ю., Мурза Н.І., Кириченко А.М., Колиско О.З., Шолудько М.І. (UA). – №u 2016 13188; заявл.23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл. N 12.

18. Патент 117289 UA, МКИ D05B 47/00/ Нитконатягувач/ Щербань В.Ю., Мурза Н.І., Кириченко А.М., Колиско О.З., Шолудько М.І. (UA). – №u 2016 13187; заявл.23.12.2016; опубл. 26.06.2017, Бюл. N 12.

19. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Математичне моделювання нитконатягувачів снувальних машин з використанням трансцендентних рівнянь/ Тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 27-28 квітня 2017 року Том 2., - К. КНУТД, с. 37-38.

20. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Математичне моделювання процесу взаємодії ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Тези доповідей XVII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 26-27 квітня 2018 року. Том 2., - К. КНУТД, с. 55-56.

21. Кириченко А.М., Щербань В.Ю. Використання рекурсивного підходу для розрахунку натягу ниток з напрямними великої кривини у випадку наявності радіального охоплення/ Тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих учених та студентів «Наукові розробки молоді на сучасному етапі», 18-19 квітня 2019 року. Том 2, ч. 1. - К. КНУТД, с. 74-75.

22. Кириченко А.М. Удосконалення конструкції пальцевого нитконатягувача на трикотажних машинах/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 15 червня 2017р.-К.:КНУТД, 2017. - С.36-38.

23. Кириченко А.М. Визначення нерівномірності натягу компенсаторів текстильних машин/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 15 червня 2018р.-К.:КНУТД, 2018. - С.32-34.

24. Кириченко А.М. Визначення натягу ниток на технологічному обладнанні з використання рекурсивного підходу/ Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції 10 жовтня 2019р.-К.:КНУТД, 2019. - С.55-57.

25. Кириченко А.М. Алгоритм оцінки ефективності роботи компенсаторів натягу нитки / Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції 22 жовтня 2020р.-К.:КНУТД, 2020. - С.112-113.