

**ЩЕРБАНЬ Володимир**

Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID ID: [0000-0002-4274-4425](https://orcid.org/0000-0002-4274-4425)  
e-mail: [scherbanvu@ukr.net](mailto:scherbanvu@ukr.net)

**ЩЕНКО Валентин**

Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID ID: [0000-0003-2180-5257](https://orcid.org/0000-0003-2180-5257)  
e-mail: [kipt@i.com.ua](mailto:kipt@i.com.ua)

**КОЛИСКО Оксана**

Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID ID: [0000-0003-4043-1238](https://orcid.org/0000-0003-4043-1238)  
e-mail: [kipt@i.com.ua](mailto:kipt@i.com.ua)

**ГОЛЬДБЕРГ Мар'яна**

Київський національний університет технологій та дизайну  
ORCID ID: [0000-0002-9982-7264](https://orcid.org/0000-0002-9982-7264)  
[kipt@i.com.ua](mailto:kipt@i.com.ua)

**ЩЕРБАНЬ Юрій**

Київський фаховий коледж прикладних наук  
ORCID ID: [0000-0001-5024-8387](https://orcid.org/0000-0001-5024-8387)  
e-mail: [scherban@i.ua](mailto:scherban@i.ua)

## **ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ЦІЛЬОВУ ФУНКЦІЮ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ДЛЯ НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА**

*Мінімально необхідний натяг буде визначатися цільовою функцією, яка представляє собою мінімальну суму кутів охоплення ниткою напрямних поверхонь. Використовується рекурсивний підхід для визначення натягу нитки в робочій зоні, за якого вихідний натяг після перешкоди у попередній зоні буде вхідним перед перешкодою у наступній зоні. Використані алгоритми та комп'ютерні програми для пошуку оптимального шляху неорієнтованого графа з використанням алгоритму Дейкстри, що дозволило визначити вплив граничних умов на цільову функцію, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки. Це призводить до зменшення обривності ниток.*

*Ключові слова: граничні умови, цільова функція, неорієнтований граф, оптимальний шлях, комп'ютерна програма.*

SHCHERBAN Volodymyr, ISHCENKO Valentin,  
KOLISKO Oksana, GOLDBERG Marjana  
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine  
SHCHERBAN Yuryj  
Kyiv Professional College of Applied Sciences

## **INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE OBJECTIVE FUNCTION IN THE COMPUTER DETERMINATION OF THE OPTIMAL PATH FOR AN UNDIRECTED GRAPH**

*The minimum necessary tension will be determined by the objective function, which is the minimum sum of the angles of coverage of the guiding surfaces by the thread. A recursive approach is used to determine the thread tension in the working zone, in which the output tension after the obstacle in the previous zone will be the input before the obstacle in the next zone. Algorithms and computer programs were used to find the optimal path of an undirected graph using Dijkstra's algorithm, which made it possible to determine the influence of boundary conditions on the objective function, taking into account the specifics of the design of the thread feeding system. This leads to a decrease in thread breakage. Minimizing thread tension on technological machines allows to reduce the probability of breakage in the working area. The minimum necessary tension will be determined by the objective function, which is the minimum sum of the angles of coverage of the guiding surfaces by the thread. The use of algorithms and computer programs for finding the optimal path of an undirected graph using Dijkstra's algorithm allows determining the influence of boundary conditions on the objective function. Determination of tension and changes in relative tension in the filling zones of knitted and textile machines, taking into account the specifics of the design of the thread feeding system, allows to reduce the breakage of threads, to optimize thread tension in the working zone of the formation of the output product. Determining the influence of boundary conditions on the objective function during the computer determination of the optimal path for an undirected graph in the search for the optimal path is an important component of the optimization of thread tension in the working zone of the formation of the output product.*

*Reducing the friction force between the thread and the guide surfaces is achieved by optimizing the geometric parameters of the thread feeding system on the technological equipment. Practically, this is realized by building such a broken form of the thread, in which the total angle of coverage of the constructive structural elements of the technological equipment will have a minimal value. Constructive structural elements are presented in the form of guides of cylindrical shape and in the form of a torus, elements of tensioning devices, devices for monitoring breakage. Construction of the optimal path of an undirected graph will allow obtaining the minimum tension in the working area. Taking into account the large number of structural elements of the thread feeding system on technological machines, their location in the plane and space, there is a need to use modern information technologies.*

*Keywords: boundary conditions, objective function, undirected graph, optimal path, computer program.*

## Постановка проблеми у загальному вигляді

### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Мінімізація натягу нитки на технологічних машинах дозволяє зменшити ймовірність обриву в робочій зоні. Мінімально необхідний натяг буде визначатися цільовою функцією, яка представляє собою мінімальну суму кутів охоплення ниткою напрямних поверхонь. Використання алгоритмів та комп'ютерних програми для пошуку оптимального шляху неорієнтованого графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначити вплив граничних умов на цільову функцію. Визначення напруженості та зміни відносного натягу по зонам заправки трикотажних та текстильних машин, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки, дозволяє зменшити обривність ниток, оптимізувати натяг ниток в робочій зоні формування вихідного продукту. Визначення впливу граничних умов на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для неорієнтованого графа при пошуку оптимального шляху є важливою складовою задачею оптимізації натягу ниток в робочій зоні формування вихідного продукту.

Зменшення величини сили тертя між ниткою та напрямними поверхнями досягається шляхом оптимізації геометричних параметрів системи подачі нитки на технологічному обладнанні. Практично це реалізується побудовою такої ламаної форми нитки, за якої сумарний кут охоплення конструктивних структурних елементів технологічного обладнання буде мати мінімальне значення. Конструктивні структурні елементи представлені у вигляді направляючих циліндричної форми та у формі тора, елементів пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву. Побудова оптимального шляху неорієнтованого графа дозволить отримати в робочій зоні мінімальний натяг. Враховуючи велику кількість структурних елементів системи подачі нитки на технологічних машинах, їх розташування у площині та просторі виникає необхідність використання сучасних інформаційних технологій.

### Аналіз досліджень та публікацій

Мінімально необхідний натяг визначається мінімальною сумою кутів охоплення ниткою напрямних поверхонь та залежить від граничних умов на вході та виході з системи [1–4]. Недосконала форма графа лінії заправки нитки на технологічних машинах легкої промисловості, низька якість комплексних ниток та пряжі при зростанні натягу по глибині заправки призводить до їх обривів. Удосконалення процесу переробки ниток полягає в мінімізації натягу і повинно базуватися на теоретичних та експериментальних дослідженнях процесу взаємодії ниток з структурними елементами системи подачі [2, 5–9]. До них можна віднести пристрої для натягу, для контролю обриву та спрямовувачі великої та малої кривизни [2]. Використання алгоритмів та комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначити напруженість та зміни відносного натягу по зонам заправки трикотажних та текстильних машин.

Визначення впливу граничних умов на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для неорієнтованого графа дозволяє отримати сумарний [3–7], мінімальний кут охоплення конструктивних структурних елементів технологічних машин. Це дозволяє зменшити напруженість та відносний натяг по зонах заправки технологічного устаткування. Перешкоди неорієнтованого графа утворюються структурними елементами технологічного устаткування, які представляють базу направляючих циліндричної форми та у формі тора, елементів пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву [1, 5–7].

### Формулювання цілей статті

Метою роботи є визначення впливу граничних умов на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для неорієнтованого графа.

### Виклад основного матеріалу

Граф лінії заправки можна розбити на зони, у кожній з яких буде одна перешкода. Тоді система рівнянь, яка описує зміну натягу між перешкодами, матиме вигляд

$$P_2 = P_1 f_1(P_1), P_3 = P_2 f_2(P_2), \dots, P_i = P_{i-1} f_{i-1}(P_{i-1}), \quad (1)$$

$$i = 1 \dots n,$$

де  $P_1$  - натяг нитки в зоні входу в систему;  $P_2, P_3 \dots P_i$  - натяг нитки після перешкоди;  $f_1(P_1), f_2(P_2) \dots f_{i-1}(P_{i-1})$  - функції, які пов'язують натяг нитки до і після перешкоди;  $i$  - поточний номер перешкоди;  $n$  - кількість перешкод.

Використовуючи рекурсивний підхід до визначення натягу нитки перед зоною формування, при якому вихідний натяг після напрямника у попередній зоні буде вхідним значенням натягу перед напрямником у наступній зоні, представимо систему рівнянь (1) у вигляді

$$P_n = P_1 \prod_{i=1}^n e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i)} = P_1 \prod_{i=1}^n e^{\mu \sum_{i=1}^n \alpha_i}.$$

Мінімально необхідний натяг буде визначатися мінімальною сумою кутів охоплення ниткою

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i \rightarrow \min .$$

На рис. 1 представлені елементи неорієнтованого графа. На рис. 1а представлені граничні умови для входу. На рис. 1б представлені граничні умови для виходу.

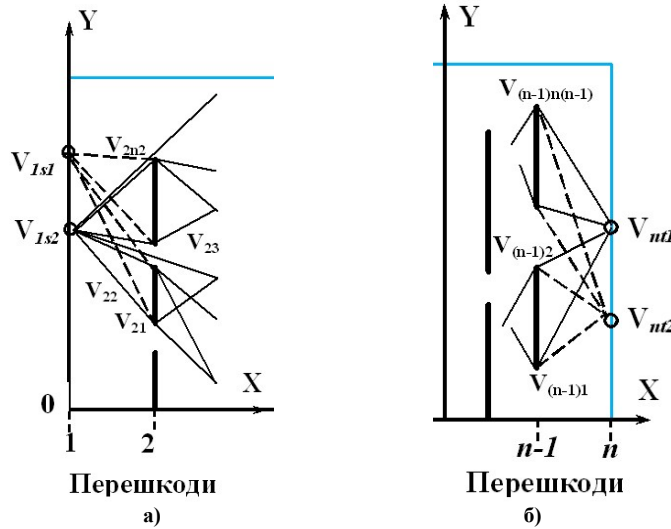


Рис. 1. Елементи неорієнтованого графа: а) граничні умови для входу; б) граничні умови для виходу

Геометрична ідентифікація між вершинами та відповідним ребром для зони між першою та другою перешкодами. Верхній індекс вказує між якими перешкодами розташовані ребра. Нижній індекс вказує для яких вершин на попередній та поточній перешкодах відноситься ребро

$$e_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]} = (V_{1s}, V_{21}), e_{(1s-22)}^{[(1)-(2)]} = (V_{1s}, V_{22}), \dots e_{(1s-2n_2)}^{[(1)-(2)]} = (V_{1s}, V_{2n_2}),$$

де  $V_k$  - підмножина вершин контакту нитки з перешкодами  $k$  рівня;  $n$  - кількість перешкод;  $V_{1s}, V_{2n_2}, \dots, V_{(n-1)n_{n-1}}, V_{nt}$  - відповідно точки вершин контакту з перешкодами 1, 2, ...  $n-1, n$  рівня;  $1s, n_2, \dots, n_{n-1}, nt$  - відповідно кількість точок вершин контакту з 1, 2 ...  $n-1, n$  перешкодами.

Геометрична ідентифікація між вершинами та відповідним ребром для зони між передостанньою та останньою перешкодами

$$e_{[(n-1)1-nt]}^{[(n-1)-(n)]} = (V_{(n-1)1}, V_{nt}), e_{[(n-1)2-nt]}^{[(n-1)-(n)]} = (V_{(n-1)2}, V_{nt}), \dots e_{[(n-1)n_{n-1}-nt]}^{[(n-1)-(n)]} = (V_{(n-1)n_{n-1}}, V_{nt}).$$

Граничні умови для першого варіанту точки входу (рис. 1а) визначаються значенням кутів охоплення для зони між першою та другою перешкодами, які визначаються наступною системою (верхній індекс вказує між якими перешкодами розташовані ребра, нижній індекс вказує для якої вершини на поточній перешкоді відноситься ребро)

$$\alpha_{(1s1-21)}^{[(1)-(2)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{21} - Y_{1s1}|}{|X_{21} - X_{1s1}|}\right], \alpha_{(1s1-22)}^{[(1)-(2)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{22} - Y_{1s1}|}{|X_{22} - X_{1s1}|}\right],$$

$$\dots$$

$$\alpha_{(1s1-2n_2)}^{[(1)-(2)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{2n_2} - Y_{1s1}|}{|X_{2n_2} - X_{1s1}|}\right]$$

або для другого варіанту точок входу неорієнтованого графа

$$\alpha_{(1s2-21)}^{[(1)-(2)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{21} - Y_{1s2}|}{|X_{21} - X_{1s2}|}\right], \alpha_{(1s2-22)}^{[(1)-(2)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{22} - Y_{1s2}|}{|X_{22} - X_{1s2}|}\right],$$

$$\dots$$

$$\alpha_{(1s2-2n_2)}^{[(1)-(2)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{2n_2} - Y_{1s2}|}{|X_{2n_2} - X_{1s2}|}\right]$$

Граничні умови для першого варіанту точки виходу (рис.1б) визначаються значенням кутів охоплення між передостанньою та останньою перешкодами, які визначаються наступною системою

$$\alpha_{[(n-1)1-nt1]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{nt1} - Y_{(n-1)1}|}{|X_{nt1} - X_{(n-1)1}|}\right],$$

$$\alpha_{[(n-1)2-nt1]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{nt1} - Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt1} - X_{(n-1)2}|}\right],$$

...

$$\alpha_{[(n-1)n_{n-1}-nt1]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{nt1} - Y_{(n-1)n_{n-1}}|}{|X_{nt1} - X_{(n-1)n_{n-1}}|}\right],$$

або для другого варіанту точок виходу неорієнтованого графа

$$\alpha_{[(n-1)1-nt2]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{nt2} - Y_{(n-1)1}|}{|X_{nt2} - X_{(n-1)1}|}\right],$$

$$\alpha_{[(n-1)2-nt2]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{nt2} - Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt2} - X_{(n-1)2}|}\right],$$

...

$$\alpha_{[(n-1)n_{n-1}-nt2]}^{[(n-1)-(n)]} = \arctg\left[\frac{|Y_{nt2} - Y_{(n-1)n_{n-1}}|}{|X_{nt2} - X_{(n-1)n_{n-1}}|}\right].$$

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Використані алгоритми та комп'ютерні програми для пошуку оптимального шляху неорієнтованого графа з використанням алгоритму Дейкстри, що дозволило визначати вплив граничних умов на цільову функцію, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки.

### Література

1. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю.Щербань. – К. : Освіта України, 2018. – 533 с.
2. 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.
3. Scherban V. Yu., Krasnitsky S.M., Rezanov V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD, 2011. 220 p.
4. 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.
5. 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 Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – 223(2). – С. 25-29.
6. Shcherban V.Y., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K.: Education of Ukraine, 2019. 902 p.
7. Scherban V. Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V. Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
8. Shcherban V., Melnyk G., Sholudko M., Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation. *Fibres and Textiles*. 2018. volume 25. №2. P. 97-104.
9. Yakubitskaya I.A., Chugin V.V., Shcherban V.Yu. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum. *Technology of the textile industry*. 1997. № 6. P. 50-54.

### References

1. Scherban V.Yu. Mechanics of Threads. K.: Formation of Ukraine, 2018. 533 p.
2. Shcherban V.Yu., Shcherban Y.Y., Kolisko O.Z., Melnik G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Basic design support of CAD in the fashion industry. Kyiv: Education of Ukraine, 2018. 902 p.
3. Scherban V. Yu., Krasnitsky S.M., Rezanov V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD, 2011. 220 p.
4. Scherban V.Yu., Volkov O.I., Shcherban Yu.Yu. CAD equipment and technological processes for light and textile industries. K.: Boomservice, 2004. 519 p.
5. Scherban V.Yu., Kalashnik V.Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I. Investigation of the influence of the thread material and the anisotropy of friction on its tension and the shape of the axiso. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2015. Volume 223. Issue 2. P. 25-29.

- 
6. Shcherban V.Y., Kolisko O.Z., Melnyk G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Computer systems design: software and algorithmic components. K.: Education of Ukraine, 2019. 902 p.
  7. Scherban V. Yu., Kolisko O.Z., Sholudko M.I., Kalashnik V. Yu. Algorithmic, software and mathematical components of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2017. 745 p.
  8. Shcherban V., Melnyk G., Sholudko M., Kalashnyk V. Warp yarn tension during fabric formation. *Fibres and Textiles*. 2018. volume 25. №2. P. 97-104.
  9. Yakubitskaya I.A., Chugin V.V., Shcherban V.Yu. Differential equations of the relative motion of the filament element on the end sections of the coil of the winding drum. *Technology of the textile industry*. 1997. № 6. P. 50-54.

Надійшла/Paper received : 08.09.2022 р.    Надрукована/Printed :01.11.2022 р.