

**ЩЕРБАНЬ ВОЛОДИМИР**

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

**ГОЛЬДБЕРГ МАР'ЯНА**

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

**МЕЛЬНИК ГЕННАДІЙ**

Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0002-0002-7663>  
e-mail: [melnik.gv@knutd.com.ua](mailto:melnik.gv@knutd.com.ua)

**КИРИЧЕНКО АНТОН**

Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0003-0041-3799>  
e-mail: [kirichenko.am@knutd.com.ua](mailto:kirichenko.am@knutd.com.ua)

**ЩЕРБАНЬ ЮРІЙ**

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

## **ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ РАДІАЛЬНОГО ОХОПЛЕННЯ НА ВАГОВІ ФУНКЦІЇ РЕБР**

З урахуванням впливу радіального охоплення визначені вагові функції ребр неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху. Використані алгоритми та комп'ютерні програми для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри, що дозволило визначити напруженість та зміни відносного натягу по зонам заправки трикотажних та текстильних машин, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки. Це призводить до зменшення обривності ниток.

Ключові слова: алгоритм Дейкстри, комп'ютерний пошук, оптимальний шлях, неорієнтований граф, радіальне охоплення, вагові функції ребр.

SHCHERBAN VOLODYMYR, GOLDBERG MARJANA, MELNIK GENADIJ, KIRICHENKO ANTON  
Kyiv National University of Technologies and Design  
SHCHERBAN YURYJ  
Kyiv Professional College of Applied Sciences

## **THE USE OF DIJKSTRA'S ALGORITHM IN THE COMPUTER SEARCH OF THE OPTIMAL PATH OF AN UNDIRECTED GRAPH TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF RADIAL COVERAGE ON THE WEIGHT FUNCTIONS OF THE EDGES**

Taking into account the influence of radial coverage, the weight functions of the edges of an undirected graph during the computer search for the optimal path are determined. Algorithms and computer programs were used to find the optimal path of the graph using the Dijkstra algorithm, which made it possible to determine the tension and changes in the relative tension in the filling zones of knitted and textile machines, taking into account the specifics of the design of the thread feeding system. This leads to a decrease in thread breakage. The development of mathematical models for determining the reduced coefficient of friction during the interaction of the thread with the ring and tubular thread guides of knitting machines allows the use of algorithms and computer programs to find the optimal path of the graph, using Dijkstra's algorithm, in which the tension of the thread at the exit point will be minimal. This makes it possible to determine the tension and change of relative tension in the filling zones of knitted and textile machines, taking into account the specifics of the design of the thread feeding system, taking into account the effect of radial coverage. Searching for the optimal path of the graph allows you to reduce thread breakage and optimize thread tension in the working area of the initial product formation. Determining the weight functions of edges, taking into account the influence of radial coverage, unoriented graph during the computer 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. Tension optimization is carried out on the basis of its minimization, which allows to reduce the probability of a break in the working area.

Optimization of the geometric parameters of the thread feeding system on the technological equipment, namely the construction of such a broken form of the thread, in which the total angle of coverage of the constructive structural elements of the technological equipment in the form of guides of a cylindrical shape and in the form of a torus, elements of tensioning devices, devices for monitoring breakage will have a minimum value. This will reduce the amount of friction force between the thread and the guide surfaces and obtain 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: Dijkstra's algorithm, computer search, optimal path, undirected graph, radial coverage, weight functions of edges.

### **Постановка проблеми**

Розробка математичних моделей для визначення приведенного коефіцієнту тертя при взаємодії нитки з кільцевими та трубчастими спрямовувачами нитки трикотажних машин дозволяє використовувати алгоритми та комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа, з використанням алгоритму

Дейкстри, при якому натяг нитки в точці виходу буде мінімальним. Це дозволяє визначати напруженість та зміну відносного натягу по зонам заправки трикотажних та текстильних машин, з урахуванням специфіки конструкції системи подачі нитки з урахуванням впливу радіального охоплення. Пошук оптимального шляху графа дозволяє зменшити обривність ниток, оптимізувати натяг ниток в робочій зоні формування вихідного продукту. Визначення вагових функцій ребр, з урахуванням впливу радіального охоплення, неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху є важливою складовою задачею оптимізації натягу ниток в робочій зоні формування вихідного продукту. Оптимізація натягу здійснюється на основі його мінімізації, що дозволяє зменшити ймовірність обриву в робочій зоні.

Оптимізація геометричних параметрів системи подачі нитки на технологічному обладнанні, а саме побудова такої ламаної форми нитки, при якій сумарний кут охоплення конструктивних структурних елементів технологічного обладнання у вигляді направляючих циліндричної форми та у формі тора, елементів пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву буде мати мінімальне значення. Це дозволить зменшити величину сили тертя між ниткою та напрямними поверхнями і 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 джерел

Недосконалість конструкції кільцевих та трубчастих спрямовувачів нитки не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи трикотажної машини [1, 5–7]. Використання алгоритмів та комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначати напруженість та зміни відносного натягу по зонах заправки трикотажних та текстильних машин [3, 5]. Кільцеві та трубчасті спрямовувачі є складовою частиною системи подачі нитки технологічного устаткування трикотажної промисловості. Недосконалість конструкції кільцевих та трубчастих спрямовувачів не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу нитки в процесі роботи технологічного устаткування і призводить до порушення технологічного режиму [1, 2]. В першу чергу, на це впливає особливості процесу взаємодії нитки з напрямною з урахуванням радіального охоплення її поверхні, що зумовлено структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих елементарних волокон та їх взаємним розташуванням відносно один до одного, а також нерівномірність вхідного натягу [2, 5–9].

Визначення вагових функцій ребр неорієнтованого графа ламаної форми нитки дозволяє отримати сумарний, мінімальний кут охоплення конструктивних структурних елементів технологічних машин [2, 3]. Структурні елементи технологічного устаткування представляють базу направляючих циліндричної форми та у формі тора, елементів пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву [5, 7]. Це дозволяє зменшити напруженість та відносний натяг по зонах заправки технологічного устаткування [2]. Удосконалення конструкції кільцевих та трубчастих спрямовувачів нитки трикотажних машин дозволяє мінімізувати їх натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної та швейної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості продукції, що випускається [1].

**Метою роботи** є з урахуванням впливу радіального охоплення визначити вагові функції ребр неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху з використанням алгоритму Дейкстри.

### Виклад основного матеріалу

Показник напруженості процесу взаємодії нитки з напрямною, з урахуванням впливу радіального охоплення, визначається показником експоненти в формулі Ейлера для визначення натягу нитки

$$w_i = 4 \frac{\sin(\delta_i)}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \alpha_i, \quad (1)$$

де  $w_i$  - показник напруженості процесу взаємодії нитки з  $i$  - напрямною;  $\delta_i$  - радіальний кут охоплення поверхні нитки  $i$  - направляючою;  $f_{0i}$  - коефіцієнт тертя нитки по  $i$  - направляючій поверхні при відсутності радіального охоплення;  $\alpha_i$  - кут охоплення ниткою направляючої.

Розв'язок задачі пошуку оптимальної траєкторії можна отримати, скориставшись моделлю у вигляді неорієнтованого графа  $G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs})$ , який представляє собою сукупність двох множин

$$G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs}) = \langle V_{tfs}, E_{tfs} \rangle, \quad (2)$$

де  $V_{tfs}$  - непушта множина вершин контакту;  $E_{tfs}$  - множина ребр, яка складається з неупорядкованих пар вершин контакту множини  $V_{tfs}$ .

З урахуванням (2), перейдемо до визначення вагових функцій ребр  $e_{(1)}^{(1-2)}, \dots, e_{(n-1)}^{[(n-1)-n]}$  неорієнтованого графа  $G_{tfs}(V_{tfs}, E_{tfs})$ . Вагові функції визначаються дійсними числами  $R$ . Множина вагових функцій  $A_{tfs}$ , які відображають ребра на їх вагу визначається з наступної системи

$$A_{ifs} = \bigcup_{k=2}^{n-1} A^{[(k2)-(k2+1)]}, \left\{ w_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]}, w_{(1s-22)}^{[(1)-(2)]}, \dots, w_{(1s-2n_2)}^{[(1)-(2)]} \right\} \in A^{[(1)-(2)]},$$

$$\left\{ w_{(21-31)}^{[(2)-(3)]}, w_{(22-32)}^{[(2)-(3)]}, \dots, w_{(2n_2-3n_3)}^{[(2)-(3)]} \right\} \in A^{[(2)-(3)]},$$

$$\dots \left\{ w_{[(n-1)1-n]}^{[(n-1)-(n)]}, w_{[(n-1)2-n]}^{[(n-1)-(n)]}, \dots, w_{[(n-1)n_{n-1}-n]}^{[(n-1)-(n)]} \right\} \in A^{[(n-1)-(n)]},$$
(3)

де  $k2$ - кількість зон розташування ребр неорієнтованого графа;  $w_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]}, \dots, w_{[(n-1)n_{n-1}-n]}^{[(n-1)-(n)]}$  - відповідні вагові функції неорієнтованого графа  $G_{ifs}(V_{ifs}, E_{ifs})$ .

Для окремої вагової функції виконується співвідношення

$$w_{(ji)}^{[(i-1)-(i)]}: A_{ifs} \rightarrow \mathbb{R},$$
(4)

де  $w_{(ji)}^{[(i-1)-(i)]}$  - вагова функція  $j$  ребра неорієнтованого графа на ділянці між  $i-1$  та  $i$  перешкодами.

Для задачі пошуку оптимальної траєкторії вагова функція для  $j$  ребра неорієнтованого графа визначається кутом нахилу цього ребра до горизонтальної осі

$$w_k^{[(i)-(i+1)]} = 4 \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{i+1,j+1} - Y_{i,j}|}{|X_{i+1,j+1} - X_{i,j}|} \right],$$

де  $k$  - номер ребра між перешкодами  $i$  та  $i+1$ ;  $X_{i,j}, Y_{i,j}$  - координати вершини графа, яка розташована на початку ребра  $k$ ;  $X_{i+1,j+1}, Y_{i+1,j+1}$  - координати вершини графа, яка розташована на кінці ребра  $k$ .

Значення вагових функцій ребр для зони між першою та другою перешкодами представлено наступною системою (верхній індекс вказує між якими перешкодами розташовані ребра, нижній індекс вказує для якої вершини на поточній перешкоді відноситься ребро)

$$w_{(1s-21)}^{[(1)-(2)]} = 4 \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{21} - Y_{1s}|}{|X_{21} - X_{1s}|} \right], w_{(1s-22)}^{[(1)-(2)]} = 4 \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{22} - Y_{1s}|}{|X_{22} - X_{1s}|} \right],$$
(5)

...

$$w_{(1s-2n_2)}^{[(1)-(2)]} = 4 \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{2n_2} - Y_{1s}|}{|X_{2n_2} - X_{1s}|} \right]$$

Значення вагових функцій ребр між другою та третьою перешкодами визначається аналогічно.

З урахуванням систем рівнянь (2) - (4) множина вагових функцій, які відображають ребра на їх вагу визначається з наступної системи

$$A_{ifs} = \bigcup_{k=2}^{n-1} A^{[(k2)-(k2+1)]}, \left\{ \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{21} - Y_{1s}|}{|X_{21} - X_{1s}|} \right], \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{22} - Y_{1s}|}{|X_{22} - X_{1s}|} \right], \dots \right.$$

$$\left. \dots \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{2n_2} - Y_{1s}|}{|X_{2n_2} - X_{1s}|} \right] \right\} \in A^{[(1)-(2)]},$$

$$\left\{ \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{31} - Y_{21}|}{|X_{31} - X_{21}|} \right], \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{31} - Y_{22}|}{|X_{31} - X_{22}|} \right], \dots \right.$$

$$\left. \dots \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{3n_3} - Y_{2n_2}|}{|X_{3n_3} - X_{2n_2}|} \right] \right\} \in A^{[(2)-(3)]},$$

$$\dots$$

$$\left\{ \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{nt} - Y_{(n-1)1}|}{|X_{nt} - X_{(n-1)1}|} \right], \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{nt} - Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt} - X_{(n-1)2}|} \right], \dots \right.$$

$$\left. \dots \frac{\sin(\frac{\delta_i}{2})}{\delta_i + \sin(\delta_i)} f_{0i} \arctg \left[ \frac{|Y_{nt} - Y_{(n-1)2}|}{|X_{nt} - X_{(n-1)2}|} \right] \right\} \in A^{[(n-1)-(n)]},$$

**Висновки**

З урахуванням впливу радіального охоплення визначені вагові функції ребр неорієнтованого графа при комп'ютерному пошуку оптимального шляху з використанням алгоритму Дейкстри.

**Література**

1. Shcherban V.Y., Shcherban Y.Y., Kolisko O.Z., Melnik G.V., Sholudko M.I., Kalashnik V.Y. Basic design support of CAD in the fashion industry. K.: Education of Ukraine, 2018. 902 p.
2. Scherban V. Yu., Krasnitsky S.M., Rezanova V.G. Mathematical Models in CAD. Selected sections and examples of application. K.: KNUTD, 2011. 240 p.
3. Shcherban' V., Makarenko J., Petko A., Melnyk G., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer implementation of a recursion algorithm for determining the tension of a thread on technological equipment based on the derived mathematical dependences. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. volume 104. №2/1. p.41-50.
4. Shcherban V.Yu., Volkov O.I., Shcherban Yu.Yu. CAD of equipment and technological processes of the light and textile industry. K., 2004. 519 p.
5. Shcherban' V., Melnyk G., Sholudko M., Kolysko O., Kalashnyk V. Improvement of structure and technology of manufacture of multilayer technical fabric. Fibres and Textiles. 2019. volume 26. № 2. p. 54-63.
6. Shcherban' V., Melnyk G., Sholudko M., Kolysko O., Kalashnyk V. Yarn tension while knitting textile fabric. Fibres and Textiles. 2018. volume 25. № 3. p. 74-83.
7. Vasilchenko V.N., Shcherban V.Yu. Influence of the twist of a capron complex filament on the value of its flexural rigidity. Technology of the textile industry. 1986. № 4. P.8-9.
8. Scherban V.Yu. Investigation of the process of duck surf during the formation of multilayer technical fabric. Technology of the textile industry. 1990. № 4. P. 41-44.
9. Scherban V.Yu. Determination of the geometric characteristics of the shape of the filament axis moving along the deformable guide surface. Technology of the textile industry. 1990. № 6. P. 52-55.