

**ЩЕРБАНЬ Володимир**Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>  
[scherbanvu@ukr.net](mailto:scherbanvu@ukr.net)**ЩЕНКО Валентин**Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0003-2180-5257>  
[kipt@i.com.ua](mailto:kipt@i.com.ua)**КОЛИСКО Оксана**Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>  
[kipt@i.com.ua](mailto:kipt@i.com.ua)**МЕЛЬНИК Геннадій**Київський національний університет технологій та дизайну  
<https://orcid.org/0000-0002-0002-7663>  
[kipt@i.com.ua](mailto:kipt@i.com.ua)**ЩЕРБАНЬ Юрій**Київський фаховий коледж прикладних наук  
<https://orcid.org/0000-0001-5024-8387>  
[scherban@i.ua](mailto:scherban@i.ua)

## СТРУКТУРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛГОРИТМУ ДЕЙКСТРИ

Забезпечення мінімального натягу при переробці нитки на технологічному обладнанні дозволяє зменшити простої обладнання за рахунок виключення чи суттєвого скорочення обривів ниток. Мінімізація натягу забезпечується оптимізацією форми лінії заправки нитки, при якій сумарний кут охоплення напрямних буде мінімальним. Ця задача вирішується за допомогою використання алгоритму Дейкстри при пошуку оптимального шляху орієнтованого графа. Комп'ютерна програма для реалізації цього алгоритму дозволяє оптимізувати форму заправки нитки на технологічному обладнанні.

Ключові слова: комп'ютерна програма, оптимальний шлях, орієнтований граф, алгоритм Дейкстри.

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

## STRUCTURE OF A COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINING THE OPTIMAL PATH DIRECTED GRAPH USING DIJKSTRA'S ALGORITHM

Ensuring the minimum tension during thread processing on technological equipment allows to reduce equipment downtime due to the elimination or significant reduction of thread breaks. Minimization of tension is ensured by optimization of the shape of the thread filling line, in which the total angle of coverage of the guides will be minimal. This problem is solved by using Dijkstra's algorithm in finding the optimal path of a directed graph. The computer program for implementing this algorithm allows you to optimize the form of filling the thread on the technological equipment. The development of application packages of computer programs allows to reduce the time for the design of technological processes in the light and textile industry as much as possible. This is due to the modernization of the thread filling line on the technological equipment, which allows to minimize thread tension in the working area. Minimization of tension is ensured by optimization of the shape of the thread filling line, in which the total angle of coverage of the guides will be minimal.

This problem is solved by using Dijkstra's algorithm in finding the optimal path of a directed graph. Construction of the optimal path of the directed graph will allow to obtain the minimum tension in the working area. Constructive structural elements in the form of guides, elements of tensioning devices, break control devices, which have a cylindrical, elliptical shape, and discrete segments of a straight line act as obstacles in the path of the thread. Straight line segments can have an inclination relative to the vertical axis. Taking into account the large number of structural elements of the thread feeding system on light and textile industry machines and their location, there is a need to develop a special computer program for determining the optimal shape of the thread feeding line using the Dijkstra algorithm when searching for the optimal path of a directed graph.

The objective function in the problem is the minimum necessary tension, which is the minimum sum of the angles covered by the thread of guide surfaces that have a cylindrical, elliptical shape, discrete segments of a straight line. The use of a computer program allows you to determine tensions and changes in relative tension in the filling zones of light and textile industry machines, which allows you to optimize the shape of the thread supply line even at the stage of designing the technological process. The use of algorithms for computer programs for finding the optimal path of an undirected graph, for cylindrical, elliptical guides, discrete segments of a straight line, allows you to determine the influence of coverage angles on the target tension function. Determining the effect of coverage angles, for cylindrical, elliptical guides, discrete segments of a straight line, on the objective function during the computer determination of the optimal path for an oriented graph is an important component of the optimization of thread tension in the working area of machines of the light and textile industry, the formation of knitted and textile products.

Keywords: computer program, optimal path, directed graph, Dijkstra's algorithm.

### Постановка проблеми

Розробка прикладних пакетів комп'ютерних програм дозволяє максимально скоротити час на проектування технологічних процесів в легкій та текстильній промисловості. Це пов'язано з модернізацією

лінії заправки ниток на технологічному обладнанні, що дозволяє мінімізувати натяг нитки в робочій зоні. Мінімізація натягу забезпечується оптимізацією форми лінії заправки нитки, при якій сумарний кут охоплення напрямних буде мінімальним. Ця задача вирішується за допомогою використання алгоритму Дейкстри при пошуку оптимального шляху орієнтованого графа. Побудова оптимального шляху орієнтованого графа дозволить отримати в робочій зоні мінімальний натяг. Перешкодами на шляху нитки виступають конструктивні структурні елементи у вигляді направляючих, елементи пристроїв для натягу, пристроїв для контролю обриву, які мають циліндричну, еліптичну форми, дискретні відрізки прямої лінії. Відрізки прямої лінії можуть мати нахил відносно вертикальної осі. Враховуючи велику кількість структурних елементів системи подачі нитки на машинах легкої та текстильної промисловості та їх розташування виникає необхідність розробки спеціальної комп'ютерної програми для визначення оптимальної форми лінії заправки нитки з використанням алгоритму Дейкстри при пошуку оптимального шляху орієнтованого графа.

Цільовою функцією в задачі виступає мінімальний натяг, яка представляє собою мінімальну суму кутів охоплення ниткою напрямних поверхонь які мають циліндричну, еліптичну форми, дискретні відрізки прямої лінії. Використання комп'ютерної програми дозволяє визначати напруженості та зміни відносного натягу по зонам заправки машин легкої та текстильної промисловості, що дозволяє ще на стадії проектування технологічного процесу оптимізувати форму лінії подачі нитки. Використання алгоритмів для комп'ютерних програми пошуку оптимального шляху неорієнтованого графа, для циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії, дозволяє визначати вплив кутів охоплення на цільову функцію натягу. Визначення впливу кутів охоплення, для циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії, на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для орієнтованого графа є важливою складовою задачею оптимізації натягу ниток в робочій зоні машин легкої та текстильної промисловості, формування трикотажних та текстильних виробів.

Зменшення величини сили тертя між ниткою та напрямними поверхнями практично реалізується побудовою такої ламаної форми нитки, при якій сумарний кут охоплення циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії конструктивних структурних елементів технологічного обладнання буде мати мінімальне значення.

#### Аналіз джерел

Недосконала форма лінії заправки нитки на технологічних машинах легкої та текстильної промисловості та низька якість сировини при зростанні натягу по глибині заправки призводить до обривів [1, 3]. Натяг сировини та форма лінії заправки пов'язані між собою [1, 2, 9]. Цей зв'язок має вигляд кутів охоплення нитками чи пряжею циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії конструктивних структурних елементів [4–8]. При недосконалості форми лінії заправки натяг в робочій зоні буде стрімко зростати, що призводить до обривів. Мініально необхідний натяг визначається мінімальною сумою кутів охоплення ниткою циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії конструктивних структурних елементів та залежить від форми лінії заправки. Удосконалення процесу переробки ниток полягає в мінімізації натягу і повинно базуватися на теоретичних та експериментальних дослідженнях процесу взаємодії ниток з елементами системи подачі. Використання алгоритмів та розробка комп'ютерних програм для пошуку оптимального шляху графа з використанням алгоритму Дейкстри дозволяє визначати напруженість та зміни відносного натягу по зонам заправки машин легкої та текстильної промисловості [2].

Перешкоди у вигляді циліндричних, еліптичних напрямних, дискретних відрізків прямої лінії в орієнтованому графі відображають реальну картину взаємодії сировини з направляючими та робочими органами технологічного обладнання. Визначення впливу реальних умов взаємодії на цільову функцію при комп'ютерному визначенні оптимального шляху для орієнтованого графа дозволяє отримати сумарний, мінімальний кут охоплення та скоротити час проектування технологічних процесів. Це дозволяє прогнозувати напруженість та відносний натяг по зонам заправки машин легкої та текстильної промисловості [1–4].

**Метою роботи** є розробка комп'ютерної програми для визначення оптимального шляху для орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри.

#### Виклад основного матеріалу

На рис.1а представлена початкова форма  $TForm2 = class(TForm)$  модуля Unit 2 комп'ютерної програми для визначення оптимального шляху з розташованими компонентами, номером версії програми та кнопкою Button1:  $TButton$ , яка реалізує процедуру `procedure Button1Click(Sender: TObject)` переходу до основних модулів програми. Перелік компонентів представлений на рис. 1б.

Комп'ютерна програма для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри складається з трьох основних модулів: `unit MainUnit`; `unit Unit3`; `unit Unit4`. Модуль `unit MainUnit` призначений для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри, коли в якості направляючих елементів використовують циліндричні поверхні. Модуль `unit Unit3` призначений для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри, коли в якості направляючих елементів використовують еліптичні поверхні. Модуль `unit Unit4` призначений для визначення оптимального шляху орієнтованого графа при використанні

алгоритму Дейкстри, коли в якості направляючих елементів використовують дискретні відрізки прямої лінії, які мають можливість змінювати кути нахилу відносно вертикалі.

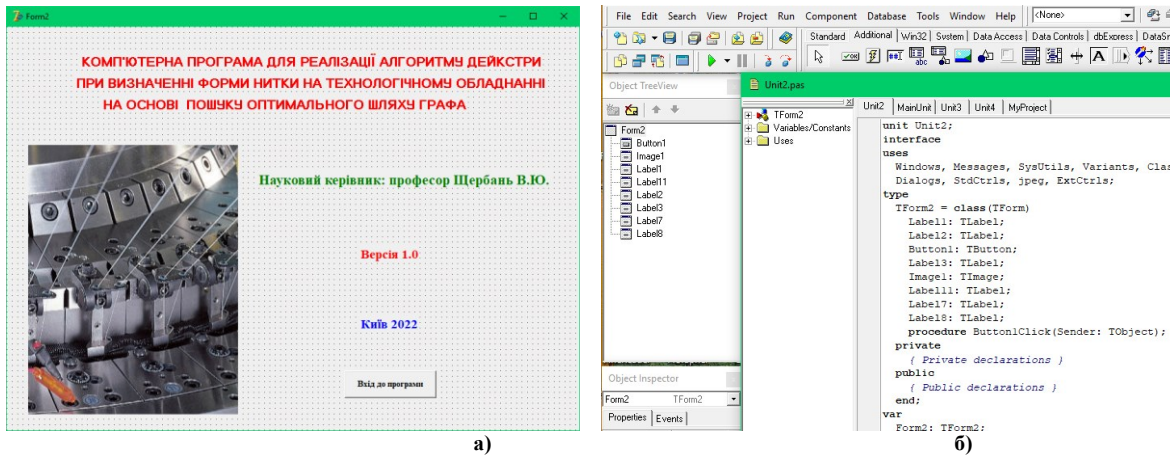


Рис. 1. Комп'ютерна програма для визначення оптимального шляху: а) модуль Unit 2; б) перелік компонентів на формі TForm2 = class(TForm)

При виконанні модуля unit MainUnit припустимо, існує інший шлях  $p'=(s, v_1', v_2', \dots, v_i', \dots, v_{k-1}', v_k)$ , якому відповідає значення цільової функції  $F(p')$ , і  $p_1' = p' \cup (v_k, v_{k+1})$ . Тоді, якщо

$$F(p) + |\alpha_k| \leq F(p') + |\alpha_k'|, \tag{1}$$

де  $\alpha_k'$  – кут між ребрами  $(v_r', v_k)$  і  $(v_k, v_{k+1})$ , будь-яке доповнення шляху  $p_1'$  шляхом  $q$  має не більше значення цільової функції, ніж доповнення  $p_1'$  шляхом  $q$ .

Враховуючи (1), ребру  $(v_k, v_{k+1})$  доцільно поставити у відповідність мінімальне значення цільової функції на  $(s, v_{k+1})$  - шляху, що закінчується цим ребром. Позначимо це значення як  $f(v_k, v_{k+1})$ . Якщо відомі значення функції  $f$  на всіх ребрах, що входять у вершину  $v_k$ , то  $f(v_k, v_{k+1})$  визначається таким чином

$$f(v_k, v_{k+1}) = \min \{ f(v_r, v_k) + \alpha((v_r, v_k), (v_k, v_{k+1})) \} \forall (v_r, v_k) \in E,$$

де  $\alpha((v_r, v_k), (v_k, v_{k+1}))$  – кут між ребрами  $(v_r, v_k)$  і  $(v_k, v_{k+1})$ .

Для реалізації модуля unit MainUnit використовуються наступні процедури та функції: функція FindAngle (x1\_1,y1\_1,x1\_2,y1\_2,x2\_1,y2\_1,x2\_2,y2\_2:real):real призначена для пошуку кут між двома дотичними; функція FindNaklon(x1,y1,x2,y2:real):real - розраховує кут нахилу дотичної; функція FindCross(x1,y1,x2,y2,xc,yc,R:real):boolean - перевіряє перетин відрізка дотичної з колом; процедура DrawAxis(sx,fx,sy,fy:integer) - рисує на компоненті Image осі координат та координатну сітку; процедура DrawMyEllipse(xc,yc,R:real;mytype:string) - рисує коло з заданими параметрами (координати центра та радіус) та ставить номер цього кола; процедура ReDrawEllipse(shift\_x,shift\_y:integer) - перерисовує кола, які вже існують, дотичні (якщо вони побудовані) та шлях (якщо він знайдений); процедура BuildTangent(el1,el2:string;xc1,yc1,R1,xc2,yc2,R2:real) - знаходить координати точок дотику спільної дотичної до двох кіл та заносить ці дані у список дотичних; процедура Koord(u,v:real) - переводить математичні координати до координат приладу; процедура MathKoord(ks,et:real) переводить координати приладу до математичних координат.

Для модуля unit Unit4 використовують аналогічні процедури з урахуванням того, що в якості напрямних використовують дискретні відрізки прямої лінії. Для визначення оптимальної траєкторії нитки пропонується скористатися моделлю у вигляді орієнтованого графа  $G = (V, E)$ , де  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{2n+2}\}$  – безліч вершин,  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$  – безліч ребер. Одна вершина  $v_s$  графа  $G$  відповідає джерелу, друга вершина  $v_t$  – ціль, а всі інші – кінцевим точкам перешкод. Граф  $G$  містить ребро  $(v_i, v_j)$ , якщо можливе просування нитки від точки, яка відображається вершиною  $v_i$  до точки, яка відображається вершиною  $v_j$ . Приріст цільової функції при доповненні шляху ребром однозначно визначається координатами нової точки  $v_{k+1}$ , координатами останньої точки  $v_k$  і кутом нахилу останнього ребра  $(v_{k-1}, v_k)$  шляху  $p$ . Припустимо, існує інший шлях  $p' = (v_s, v_1', v_2', \dots, v_i', \dots, v_{k-1}', v_k)$ , якому відповідає значення цільової функції  $F(p')$ , і  $p_1' = p' \cup (v_k, v_{k+1})$ . Тоді

$$F(p) + |\alpha_k| \leq F(p') + |\alpha_k'|,$$

де  $\alpha_k'$  – кут між ребрами  $(v_r', v_k)$  і  $(v_k, v_{k+1})$ .

На рис. 2а представлені результати розрахунку при реалізації модуля unit MainUnit. На рис. 2б представлені результати розрахунку при реалізації модуля unit Unit4.

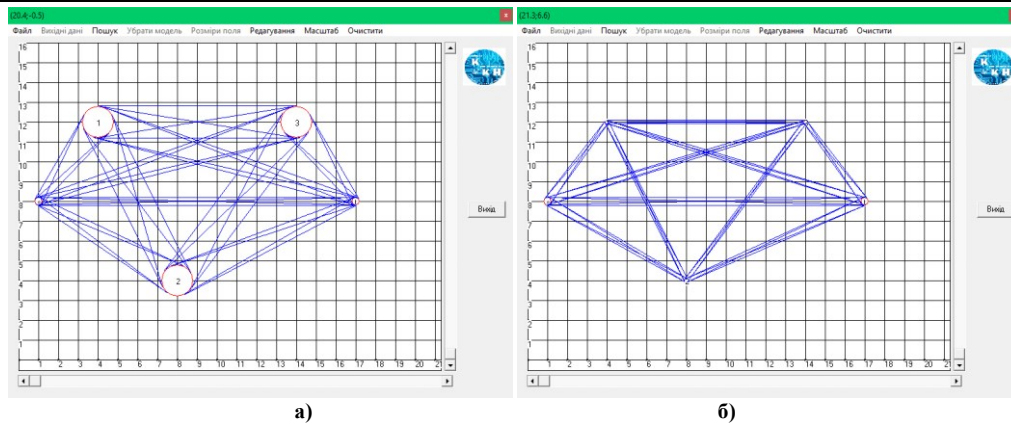


Рис. 2. Результати розрахунку: а) для модуля unit MainUnit; б) для модуля unit Unit4

### Висновки

Розроблена комп'ютерна програма для визначення оптимального шляху для орієнтованого графа при використанні алгоритму Дейкстри.

### Література

1. Щербань В.Ю. Механіка нитки / В.Ю. Щербань. – К. : Освіта України, 2018. – 533 с.
2. Базове проектуєче 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 axis. *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.