

Турбал Ю. В., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, y.v.turbal@nuwm.edu.ua), **Тулашвілі Ю. Й., д.п.н., професор** (Луцький національний технічний університет, y.tulashvili@lutsk-ntu.com.ua)

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ ТУРИСТИЧНОГО МАРШРУТУ ТА ЙОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СУПРОВІДУ

У статті запропоновано алгоритм, що забезпечує на основі інформації про туристичні об'єкти, побудову туристичних маршрутів. Побудова оптимального туристичного маршруту реалізується шляхом аналізу даних, які можна відобразити у вигляді шляхів деяких неорієнтованих графів. За описом алгоритму запропонована бізнес логіка його програмної реалізації у формі вебдодатка. Розроблений вебдодаток функціонує на засадах туристичних рекомендаційних систем, які шляхом отримання даних після аналізу зацікавлень споживачів туристичної продукції, дозволяють визначати їх потреби та пропонувати оптимальні туристичні маршрути для подорожей містами України. Основне завдання вебдодатка є інформаційний супровід турів міського культурного туризму. Додаток шляхом визначення геолокації місцеположення користувача генерує туристичні маршрути на основі розробленого алгоритму.

Ключові слова: міський туризм; алгоритм; оптимальний туристичний маршрут; вебдодаток; інформаційний супровід.

Проблема вибору туристичного маршруту завжди пов'язана з привабливістю українських міст як культурних осередків міського туризму. Характерним завданням, що розв'язується туристом після першого приїзду у будь-яке місто, є пошук інформації щодо культурно-історичних пам'яток цього міста, знаходження їх місце розташування та визначення оптимального маршруту для проведення туристичної екскурсії.

Рівень інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), що є основою сучасних туристичних рекомендаційних систем (TRS), сьогодні забезпечує туристам полегшення пошуку потрібної їм інформації [1].

Розроблений підхід для TRS ґрунтується на отриманні даних після аналізу популярних для споживачів туристичних об'єктів, за результатами якого можна визначати їх потреби та пропонувати оптимальні туристичні маршрути для подорожей містами України. Тому сьогодні дослідження в галузі використання продуктів ІКТ у сфері туризму, що забезпечують просування туристичних послуг, є актуальними та спрямовані на підвищення рівня інформаційної, консультаційної підтримки туристів, що сприяє ефективному економічному зростанню всіх видів туризму.

Всесвітня туристична організація UNWTO у 2015 році вперше визначила використання ІКТ серед сімнадцяти цілей у сфері сталого розвитку світового туризму як ознаку SMART-туризму [2]. SMART-туризм передбачає широке використання різноманітних TRS як механізмів онлайн-пошуку, що сприяють передбаченню «рейтингу» або «переваг», які користувач туристичної продукції буде віддавати туристичному об'єкту [3]. Це особливо помітно для такого напрямку туристичної індустрії, як міський культурний туризм.

Автори дослідження «Огляд алгоритмічних підходів до розв'язування задач проєктування туристичної подорожі» завдання вибору туристичного маршруту відносять до проблеми планування маршруту при зацікавленості туристів відвідувати більше одного об'єкта під час туристичного туру. Основна мета обговорюваної проблеми полягає в тому, щоб вибрати об'єкти, які відповідають уподобанням туристів, максимізуючи таким чином їх задоволення від туристичного маршруту [4].

Сучасні тенденції проєктування та розвитку інтелектуальних інформаційних технологій, впровадження процесу генерування туристичних маршрутів проаналізовано у дослідженнях [3–4].

У публікаціях, присвячених SMART-туризму, широко аналізуються персоналізовані електронні туристичні путівники та піднімаються проблеми пошуку туристичного маршруту на основі інформації зі спеціалізованих сайтів.

Однак слід зазначити, що в цих працях не піднімалося питання знаходження оптимальних туристичних маршрутів за даними щодо популярності туристичних об'єктів з використанням TRS як засобу SMART-туризму.

Метою цього дослідження є розробка алгоритму побудови оптимального туристичного маршруту для підтримки SMART-туризму

по містах України та формування бізнес-логіки його програмної реалізації.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

- окреслити функцію побудови оптимального туристичного маршруту;
- розробити математичну модель генерування послідовності туристичних маршрутів на основі знань про туристичні об'єкти, їх характеристики та популярність;
- розробити алгоритм напрацювання рекомендацій щодо найбільш оптимальних туристичних об'єктів;
- окреслити бізнес-логіку, необхідну для програмної реалізації алгоритму.

Кожен турист в межах TRS, яка розробляється, стає автономною одиницею споживання рекомендацій щодо туристичних маршрутів міського туризму і користувачем системи, що працює з розширеними інформаційними потоками, програмними та іншими ресурсами [1].

Алгоритм побудови оптимального туристичного маршруту пропонується у такій послідовності. Функція побудови оптимального туристичного маршруту реалізується шляхом аналізу даних, які можна відобразити у вигляді шляхів деяких неорієнтованих графів. Отримуємо деякий неорієнтований граф $G = (V, E)$, вершини якого визначають сукупність туристичних об'єктів деякого міста, а ребра – шляхи між туристичними об'єктами. Поставимо у відповідність кожному ребру (u, v) деяке число $\rho(u, v)$, яке визначає відстань між туристичними об'єктами чи час руху. Якщо прямого сполучення між туристичними об'єктами немає, відповідне значення рівне 0. Поставимо у відповідність кожній вершині деяке число, яке означає туристичну привабливість вершини. Тоді функцію туристичної привабливості $Attr(v), v \in V$ визначимо так:

$$Attr(v) = \gamma Int(v) + (1 - \gamma) Vis(v) \in V,$$

де $Int(v)$ – це нормоване значення функції зацікавленості до відповідної вершини (туристичного об'єкта), $Vis(v)$ – нормоване значення функції відвідуваності відповідної вершини (туристичного об'єкта) у нашій системі, $\gamma \in (0, 1)$ – деякий параметр.

Алгоритм побудови оптимального туристичного маршруту розкривається у такій послідовності: для заданої вершини $v \in V$

необхідно знайти цикл, початок та кінець якого співпадає з вершиною $v \in V$, для якого сумарна привабливість усіх вершин є максимальною та сумарна довжина шляху (втрата часу) мінімальна. Для формального запису задачі усі вершини графа пронумеруємо числами від 1 до $n = |V|$. Тоді формально відповідну задачу можемо записати у вигляді:

$$\sum_{k=1}^n Attr(v_{i_k}) \chi(i_k \neq i_1, i_k \neq i_2, \dots, i_k \neq i_{k-1}) \rightarrow \max_{[v=v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n}=v]} ; \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{n-1} \rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) \rightarrow \min_{[v=v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n}=v]} ; \quad (2)$$

$$n \leq |V|, v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n} \in V ; \quad (3)$$

$$\rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) > 0, k = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Зауважимо, що цикл може бути довільним, вершини у ньому можуть повторюватись. Наявність множника $\chi(i_k \neq i_1, i_k \neq i_2, \dots, i_k \neq i_{k-1})$ забезпечує врахування туристичної привабливості заходу в туристично привабливу вершину лише один раз. Якщо здійснюється захід у неї ще раз, то вважаємо, що вершина вже не має туристичної привабливості і є лише транспортним вузлом. Як бачимо, дана задача є багатокритеріальною. Виходячи з загальної стратегії розв'язку багатокритеріальних задач, зведемо її до однокритеріальної, ввівши деякі вагові коефіцієнти критеріїв.

$$\alpha \sum_{k=1}^{n-1} \tilde{\rho}(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) - (1-\alpha) \sum_{k=1}^n Attr(v_{i_k}) \chi(i_k \neq i_1, i_k \neq i_2, \dots, i_k \neq i_{k-1}) \rightarrow \min_{[v=v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n}=v]} . \quad (5)$$

$$n \leq |V|, v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_{n-1}}, v_{i_n} \in V . \quad (6)$$

$$\rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) > 0, k = \overline{1, n}$$

$$\tilde{\rho}(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) = \rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) / \max_{i,j:(v_i, v_j) \in E} (\rho(v_i, v_j)) .$$

Запропонована математична модель покладена в основу алгоритму, який здійснює опрацювання даних вибраних із бази даних, що накопичуються за рахунок визначення геолокацій туристів та їх переглядів інформації щодо туристичних об'єктів. Алгоритм розв'язку розкривається такою послідовністю дій:

При $\alpha = 1$ наша задача зводиться до задачі пошуку найкоротшого циклу і очевидно, має тривіальний розв'язок – це цикл, що утворений початковою та найближчою до неї вершиною. При $\alpha = 0$ необхідно знайти цикл з максимальною сумарною

функцією туристичної привабливості. Очевидно, що розв'язком такої задачі буде довільний цикл, що містить усі вершини з ненульовою привабливістю. При $0 < \alpha < 1$ маємо певну комбінацію критеріїв (1)–(2), яка визначає задачу коректно: адже задача у постановці (1)–(4) не визначає однозначно, яким чином вибрати оптимальний шлях.

Для опису алгоритму розв'язання задачі (1) введемо для довільного шляху $v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_m}$ значення цільової функції

$$L(v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_m}) = \alpha \sum_{k=1}^{m-1} \rho(v_{i_k}, v_{i_{k+1}}) - (1 - \alpha) \sum_{k=1}^m Attr(v_{i_k}) \chi(i_k \neq i_1, i_k \neq i_2, \dots, i_k \neq i_{k-1}). \quad (7)$$

Припустимо, що якийсь цикл $v = v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_n} = v$ оптимальний за критерієм (7). Розглянемо довільну вершину циклу v_{i_l} . Очевидно, що шлях до неї $v = v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_l}$ також оптимальний (бо якщо існує інший з меншим значенням цільової функції, то отримуємо протиріччя з тим, що вихідний цикл оптимальний). Розглянемо шлях $v_{i_l}, \dots, v_{i_n} = v$ як частину нашого оптимального циклу. За аналогічними міркуваннями він також оптимальний. А тому, якщо якась вершина на зворотному шляху відвідується повторно, її туристична привабливість рівна 0.

Отже, на кожному кроці будемо знаходити для кожної вершини, відмінної від початкової, оптимальне значення цільової функції (7) та відмічати ту вершину, для якої це значення мінімальне. При цьому будемо аналізувати всі ребра, що виходять з множини вже відмічених вершин в усі інші (в тому числі і відмічені) вершини. Якщо мінімум досягнутий на невідміченій вершині туристично-привабливу – відмічаємо її. Якщо на відміченій – то знаходимо мінімум біжучого значення цільової функції та її попередньої відмітки і вибираємо мінімальне значення з двох. При цьому фіксуємо також відповідні шляхи до вершин. Таким чином, результатом роботи нашого алгоритму є пошук оптимальних за критерієм (7) шляхів з початкової вершини в усі інші.

Наступним етапом роботи нашого алгоритму є пошук оптимального шляху з кожної відміченої вершини в початкову (оптимального зворотного шляху). При цьому туристичні привабливості прямого шляху у відповідну вершину обнуляємо. В результаті отримуємо шляхи та значення критерію (7). Отже, для кожної вершини матимемо цикл, що її містить, та оптимальне значення критерію (7) як суму значень функції для двох відповідних шляхів: перший, що веде до неї з початкової вершини, другий, що

Системні вимоги до вебдодатка такі:

- на стороні сервера (back-end) застосовується фреймворк Express.js, документно-орієнтована база даних з відкритим вихідним кодом MongoDB;

- на стороні клієнта (front-end) вебдодаток будується на засадах односторінкової реалізації (Single-Page Applications, SPA) з використанням JavaScript-бібліотеки React.js. SPA завантажується як одна HTML-сторінка, що динамічно оновлюється при її взаємодії з користувачем. Дизайн шаблону сайту повинен бути виконаний з використанням мови HTML, CSS та JS. Сайт повинен коректно відображатися в браузерях Microsoft Internet Explorer 6.0, 7.0; Mozilla FireFox, Google Chrome;

- взаємодія клієнтського вебдодатка із сервером реалізується методом REST API. Де API (англ. Application Programming Interface) – це код, який дозволяє обмінюватися даними сторони сервера зі стороною клієнта. REST (англ. Representational State Transfer – «передача репрезентативного стану») являє набір правил того, як організувати написання коду, щоб усі системи вебдодатка легко обмінювалися даними.

За результатами дослідження розкрито алгоритм побудови туристичного маршруту, який здійснює опрацювання даних вибраних із контенту бази даних, що накопичуються за рахунок визначення геолокацій туристів та їхніх переглядів інформації щодо туристичних об'єктів.

За рахунок визначення функції туристичної привабливості кожного туристичного об'єкта в отриманому деякому неорієнтованому графі запропонований алгоритм серед множини найбільш популярних туристичних об'єктів визначається оптимальний маршрут їх відвідування.

За описом алгоритму запропонована бізнес-логіка його програмної реалізації у формі вебдодатка. Бізнес-логіка побудована для двох рівнів функціонування додатку – back-end та front-end. Робота з інформаційним супроводом, що використовує дані з бази даних відбувається на серверному рівні – back-end. Користувач отримує опис туристичного маршруту на стороні клієнта – front-end.

Розроблений вебдодаток функціонує на засадах туристичних рекомендаційних систем, які шляхом отримання даних після аналізу зацікавлень споживачів туристичної, дозволяє визначати їх потреби

та пропонувати оптимальні туристичні маршрути для подорожей містами України.

Перспективою подальших досліджень є визначення засад використання сучасних програмних додатків інформаційного супроводу туристичних турів, що розроблені з використанням алгоритму побудови оптимальних маршрутів туристичних об'єктів, для аналізу та узгодження рекламних матеріалів туристичних агентств.

1. Artemenko O., Kunanets O., Pasichnyk V. E-tourism recommender systems: a survey and development perspectives. *Econtechmod : an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes*. Lublin ; Rzeszow, 2017. Vol. 6, number 2. P. 91–95. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/39426> (дата звернення: 12.02.2022).
2. World Summit On Sustainable Tourism + 20. 26–27 November, 2015. URL: <http://www.institutoturismoresponsable.com/events/sustainabletourismcharter2015/wp-content/uploads/2016/04/ST-20CharterMR.pdf> (дата звернення: 12.02.2022).
3. Кормягина Н. Н. Smart-туризм как часть Smart-концепции. *Маркетинг и логистика : научно-практический журнал*. 2017. № 6 (14). С. 45–57. URL: <http://marklog.ru/smart-turizm-kak-chast-smart-koncepcii> (дата звернення: 12.02.2022).
4. Damianos Gavalas, Charalampos Konstantopoulos, Konstantinos Mastakas, and Grammati Pantziou. *A Survey on Algorithmic Approaches for Solving Tourist Trip Design Problems* : Journal of Heuristics. June 2014, Vol. 20, Issue 3. Pp. 291–328. URL: https://www.researchgate.net/publication/271921760_A_survey_on_algorithmic_approaches_for_solving_tourist_trip_design_problems (дата звернення: 12.02.2022).

REFERENCES:

1. Artemenko O., Kunanets O., Pasichnyk V. E-tourism recommender systems: a survey and development perspectives. *Econtechmod : an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes*. Lublin ; Rzeszow, 2017. Vol. 6, number 2. P. 91–95. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/39426> (data zvernennia: 12.02.2022).
2. World Summit On Sustainable Tourism + 20. 26–27 November, 2015. URL: <http://www.institutoturismoresponsable.com/events/sustainabletourismcharter2015/wp-content/uploads/2016/04/ST-20CharterMR.pdf> (data zvernennia: 12.02.2022).
3. Kormyagina N. N. Smart-turizm kak chast Smart-kontseptsii, *Marketing i logistika : nauchno-prakticheskii jurnal*. 2017. № 6 (14). S. 45–57. URL: <http://marklog.ru/smart-turizm-kak-chast-smart-koncepcii> (data

zvernennia: 12.02.2022). 4. Damianos Gavalas, Charalampos Konstantopoulos, Konstantinos Mastakas, and Grammati Pantziou. *A Survey on Algorithmic Approaches for Solving Tourist Trip Design Problems* : Journal of Heuristics. June 2014, Vol. 20, Issue 3. Pp. 291–328. URL: https://www.researchgate.net/publication/271921760_A_survey_on_algorithmic_approaches_for_solving_tourist_trip_design_problems (data zvernennia: 12.02.2022).

Turbal Yu. V., Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne) **Tulashvili Yu. Y., Doctor of Pedagogic Sciences, Professor** (Lutsk National Technical University)

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR BUILDING A TOURIST ROUTE AND ITS INFORMATION SUPPORT

The article proposes an algorithm that provides, based on information about tourist sites, the construction of tourist routes. The construction of a rational tourist route is implemented by the method of data analysis, which can be reflected through the paths of some undirected graphs. According to the algorithm, at each step for each vertex other than the initial one, the optimal value of the objective function is found and the vertex of the undirected graph is determined for which this is the minimum value. In this way, all edges going out of the set of already marked vertices to all other vertices are analyzed. Thus, the result of the algorithm's work is the search for optimal paths from the initial vertex to all the others by a certain criterion.

According to the description of the algorithm, the business logic of its software implementation in the form of a Web application is proposed. Business logic is built for two levels of application functioning – back-end and front-end. Work with information support using data from the database occurs at the server level – back-end. The user receives a description of the tourist route on the client side – front-end.

The developed Web application operates on the principle of a tourist recommender system, which, receiving data after analyzing the interests of consumers of a tourist product, allows you to determine their needs and offer the best tourist routes for traveling around the cities of Ukraine. The main task of the Web-application is

informational support of tours of urban cultural and educational tourism. The application, determining the geolocation of the user's location, generates tourist routes based on the developed algorithm. The result of the work of the web application according to the developed algorithm is a set of the most popular tourist sites that form the optimal route for visiting them.

***Keywords:* urban tourism; algorithm; optimal tourist route; Web-application; information support.**
