

О. М. ПШІНЬКО¹, Ю. С. БАРАШ², В. В. СКАЛОЗУБ³, Л. В. МАРЦЕНЮК⁴
(Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка
В. Лазаряна)

^{1*} Д.т.н., проф., ректор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010

^{2*} Д.е.н., проф., зав. каф. «Облік, аудит та інтелектуальна власність», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (067) 631 93 02, ел. пошта: ubarash46@gmail.com,

^{3*} Д.т.н., проф., декан факультету «Технічна кібернетика», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, ел. пошта: skalozub.vl.v@gmail.com, ORCID 0000-0002-1941-4751

^{4*} К.е.н., доц. каф. «Економіка та менеджмент», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, ел. пошта: rwinform1@ukr.net, ORCID 0000-0003-4121-8826

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СФЕРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

Мета. Стаття присвячена питанням розробки оптимізаційної економіко-математичної моделі, призначеної для формування засад щодо розвитку сфери залізничного туризму в Україні. Відзначається, що завдання оптимального планування зазначеного розвитку, з урахуванням можливих ризиків щодо його реалізації, виконується вперше. Змістовно утворювана модель дає можливість визначити оптимальний за критерієм максимальної рентабельності туристичний маршрут (групу маршрутів) на заданому полігоні вузькоколіїної залізниці. В якості системи обмежень моделі оптимального розвитку сфери залізничного туризму виступають вимоги щодо рухомого складу, кількості туристів та рейсів, кількості визначених категорій маршрутів тощо. **Методика.** Для ефективного формування та розгортання сфери послуг залізничного туризму в Україні запропоновано економіко-математичну модель щодо оптимального вибору множини туристичних маршрутів із встановленого набору, які забезпечують максимальну рентабельність операторів при виконанні множини умов здійснення туристичної діяльності. Пропонована методика базується на принципі незалежності функціонування окремих туристичних маршрутів, адитивності функцій оцінки показників діяльності операторів. Урахування можливих ризиків на етапі формування множини найбільш рентабельних туристичних маршрутів забезпечується шляхом застосування двоетапних моделей вибору та планування. **Результати.** Вперше для сфери залізничного туризму в Україні побудовано економіко-математичну модель дискретного оптимального планування, призначену для визначення наборів ефективних маршрутів, що являються найбільш рентабельними при встановленій системі вимог. **Наукова новизна.** Отримано нову економіко-математичну

модель планування процесів діяльності туристичних операторів з урахуванням умов ризиків, представлену у вигляді дискретної двоетапної моделі оптимізації, яка забезпечує вибір набору найбільш рентабельних маршрутів залізничного туризму в Україні. **Практична значимість.** Результати досліджень забезпечують можливості підвищення ефективності роботи туристичних залізничних операторських компаній на етапі визначення та вибору сфери діяльності.

Ключові слова: залізничний туризм в Україні, формування сфери послуг, економіко-математична модель, дискретне оптимальне планування з урахуванням ризиків, критерії рентабельності та чистого приведенного доходу, туристичний оператор.

Вступ

Реформування залізничного транспорту за вертикально-інтегрованою структурою розпочалося з грудня 2015 року, коли в Україні замість державного підприємства «Укрзалізниця» було утворено Публічне акціонерне товариство «Українська залізниця» (ПАТ «УЗ»), 100 %, акцій якої належить Державі. В окремі департаменти були виділені пасажирські перевезення у далекому та приміському сполученні, які більш не можуть отримувати субсидії від вантажних перевезень. Оскільки пасажирські перевезення збиткові, то вони мусять отримувати дотацію від Держави. Але на цей час Кабмін та місцеві органи влади не можуть виділяти такі кошти на підтримку пасажирських перевезень.

Тому перед ПАТ «УЗ» постало важливе завдання – підвищення ефективності роботи пасажирського господарства за рахунок: збільшення обсягів перевезень, оптимізації руху пасажирських поїздів, збільшення кількості денних поїздів і організації залізничного туризму, що дозволить знизити його збитковість.

В даній статті розглянуте питання підвищення ефективності діяльності пасажирської компанії ПАТ «Українська залізниця» за рахунок впровадження залізничного туризму по широким та вузьким коліям. Якщо проблемі використання існуючих залізниць для туристичних перевезень та визначення їх ефективності у Радянському Союзі приділялося багато уваги, то в Україні зараз цьому питанню присвячено лише кілька наукових праць.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питанням розвитку залізничного туризму в Україні присвячено доволі обмежену кількість наукових публікацій. Особливо слід виділити внесок доцента Дергоусової А.О., яка багато уваги приділила залізничному туризму [4]. Автори В.Г. Кузнєцов, П.О. Пшінько, І. В. Кліменко, А. В. Гуменюк, С. М. Загорулько у своїй науковій роботі визначили перспективи розвитку залізничного туризму України на вузькоколіїних лініях Закарпаття [8]. За кордоном є багато наукових праць присвячених залізничному туризму, але, в основному, усі вони носять суттєво описовий характер і не мають наукового спрямування. В останні роки питаннями залізничного туризму займаються як науковці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [1, 2, 3, 6], в роботах яких розроблено інноваційних підхід до розвитку пасажирських компаній, що будуть займатися залізничним туризмом, так і іноземні автори [10-17]. Незважаючи на невелику кількість наукових праць в теорії та практиці розвитку туристичних перевезень стратегія розвитку залізничного туризму є недостатньо висвітленою і вимагає подальшого вдосконалення.

Мета

Стаття присвячена питанням розробки оптимізаційної економіко-математичної моделі, призначеної для формування засад щодо розвитку сфери залізничного туризму в Україні. Відзначається, що завдання оптимального планування зазначеного розвитку, з урахуванням можливих ризиків щодо його реалізації, виконується вперше. Змістовно утворювана модель дає можливість визначити оптимальний за критерієм максимальної рентабельності туристичний маршрут (групу маршрутів) на заданому полігоні вузькоколіїної залізниці. В якості системи обмежень моделі оптимального розвитку сфери залізничного туризму виступають вимоги

щодо рухомого складу, кількості туристів та рейсів туристичного поїзда, кількості визначених категорій маршрутів тощо.

Методика

Для ефективного формування та розгортання сфери послуг залізничного туризму в Україні запропоновано економіко-математичну модель щодо оптимального вибору множини туристичних маршрутів із встановленого набору, які забезпечують максимальну рентабельність операторів при виконанні множини умов здійснення туристичної діяльності. Пропонована методика базується на принципі незалежності функціонування окремих туристичних маршрутів, адитивності функцій оцінки показників діяльності операторів. Урахування можливих ризиків на етапі формування множини найбільш рентабельних туристичних маршрутів забезпечується шляхом застосування двоетапних моделей вибору та планування.

Результати

Постановка задачі формування сфери залізничного туризму. У роботі вперше для сфери залізничного туризму в Україні досліджено завдання із побудови економіко-математичної моделі дискретного оптимального планування, призначеної для визначення наборів ефективних маршрутів, які являються найбільш рентабельними при встановленій системі вимог, що обмежують діяльність туристичних операторів. Передумова такого завдання визначається наступним. На визначеному полігоні залізниці (рис.1) частково існує вузька колія довжиною 60 км, додатково пропонується укласти ще 198 км вузьких колій. Такі заходи дозволять включити до зони тяжіння туристичної залізниці значну частину туристичних об'єктів, які розташовані на станціях: Берегове, Хмільник, Виноградів, Іршава, Хуст, Вучкове, Міжгір'я, Лисичово, Свалява, Мукачево, Довге.

1. Загальна довжина лінії (1-ша та 2-га черга) – 258 км.
2. Довжина першої черги – 199 км.

- в т. ч. реконструкція існуючої колії – 60 км.
3. Загальна вартість будівництва 1-ої черги – 49,5 млн. \$
в т. ч. вартість рухомого складу – 12,0 млн. \$
4. Кількість туристів, що будуть користуватися залізницею протягом року – 115 тис. осіб.

Маршрутні відстані між станціями на залізниці: Свалява-Лисичово – 30 км; Лисичово-Міжгір'я – 24 км; Міжгір'я-Хуст – 60 км; Хуст-Виноградів – 25 км; Виноградів-Хмельник – 20 км; Хмельник-Берегове – 25 км; Хмельник-Іршава – 15 км; Іршава-Мукачево – 33 км; Мукачево-Свалява – 26 км.

Основні характеристики складових проекту наступні. Загальна вартість пасажирських вагонів, за умови дефіциту коштів, мусить дорівнювати 8080 тис. дол. США. Загальна кількість локомотивів не може перевищувати 7 одиниць, вагонів 1-го класу – 8 од.; вагонів 2-го класу – 24 од.; вагонів-буфетів – 7 од.; спеціальних вагонів – 7 од.; рейкомобілів – 4 од.

Таблиця 1

Прогнозна кількість користувачів залізниці

Номер станції	Найменування туристичних станцій	Кількість потенціальних користувачів залізниці, тис. од.
1	Берегове	45
2	Хмельник	5
3	Виноградів	3
4	Іршава	3
5	Хуст	24
6	Вучкове	2
7	Міжгір'я	7
8	Лисичого	2
9	Свалява	24
	Разом кількість туристів та відпочиваючих	115



Рис.1. Схема існуючих та рекомендованих до будівництва вузькоколіїних залізниць в Закарпатському регіоні України

Вартість окремих вагонів та локомотивів наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Вартість рухомого складу для перевезення туристів

Найменування об'єктів	Вартість одиниці, тис. грн
<i>вагон 2-го класу</i>	<i>3 500</i>
<i>вагон 1-го класу</i>	<i>4 000</i>
<i>вагон-буфет або ресторан</i>	<i>6 000</i>
<i>спеціальний вагон</i>	<i>6 250</i>
<i>Локомотив</i>	<i>25 000</i>
<i>Рейкомобіль</i>	<i>3 500</i>

У табл. 3 наведено результати розрахунків щодо варіантів можливих маршрутів, структури поїздів та потенційної кількості туристів. Вони дозволяють оцінити потенціал цієї сфери залізничного туризму.

Зрозуміло, що практична реалізація варіантів табл. 3 базується на визначенні центрального поняття – рішення, або плану оптимального розвитку сфери залізничного туризму, залежить від ступеня урахування можливостей оцінки стану системи планування (детерміновані дані, умови

ризику або невизначеності ін.), урахування різноманітних обмежень, що впливають на розрахунки оптимальних варіантів рішення задачі. Існує багато обмежень, які не дозволяють одночасно виконувати туристичні перевезеннями по всім маршрутам табл. 3.

В роботі розроблено десять варіантів туристичних маршрутів на полігоні вузькоколійної залізниці (рис. 1), частина з них представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Варіанти можливих маршрутів, структури поїздів та потенційної кількості туристів

№ маршруту	Найменування маршруту	Тривалість маршруту, доба	Населеність рухомого складу, чол	Тип рухомого складу	Кількість одиниць рухомого складу, од.	Кількість рейсів протягом року, од.	Коефіцієнт використання рухомого складу	Усього після уведення першої черги будівництва
1	Свалява - Лисичове - Міжгір'я - Свалява	1	24	Рейкомобіль	2	300	0,8	11 520
3	Свалява-Міжгір'я-Хуст-Лисичово-Свалява	2	50	Поїзд з 4 вагонів (2 вагона 2-го класу)	2	150	0,8	12 000
4	Свалява-Міжгір'я-Хуст-Берегове (в один кінець)	2	64	Поїзд з 5 вагонів (2 вагона 2-го класу та 1 ваг. 1-го класу)	2	150	0,8	15 360
6	Свалява - Лисичово - Міжгір'я - Хуст - Виноградів - Хмельник - Берегове Виноградів(в один кінець)	3	56	Поїзд "Перлтна Карпат" (4 вагона - 1 кл)	2	100	0,9	10 080
9	Свалява-Лисичово-Міжгір'я-Вучківце-Хуст-Виноградів-Хмельник-Берегове (в один кінець)	3	100	Поїзд з 6 вагонів (4 вагонів 2-го класу)	2	100	0,9	18 000

Розглянемо основні умови туристичної діяльності докладніше. По-перше, це кількість потенційних туристів на полігоні Берегове – Хмельник – Виноградів – Хуст – Міжгір'я – Лисичого – Свалява не може перевищувати 120 000 тис чол. на рік, табл. 1. По-друге, загальна кількість одиниць рухомого складу не може бути більшою, ніж: локомотивів – 7 од., вагонів 1-

го класу – 8 од., вагонів 2-го класу – 24 од., вагонів-буфетів – 7 од., спеціальних вагонів – 7 од., рейкомобілів – 4.

Тривалість туристичної поїздки на маршруті не може перевищувати 4 доби. Максимальна кількість рейсів одного туристичного поїзда за рік не може перевищувати:

для тривалості туристичного маршруту 1 доба – 300 рейсів;

для тривалості туристичного маршруту 2 доби – 150 рейсів;

для тривалості туристичного маршруту 3 доби – 100 рейсів;

для тривалості туристичного маршруту 3 доби – 75 рейсів;

Структура поїзда не може перевищувати – 7 вагонів: 5 вагонів (першого та другого класів); 1 вагон-ресторан або вагон-буфет; 1 спеціальний вагон.

Змістовно мета розробки полягає у формуванні моделі планування туристичної діяльності, за допомогою якої забезпечується можливість визначити оптимальний за критерієм максимальної рентабельності туристичний маршрут (або групу маршрутів) на заданому полігоні вузькоколійної залізниці. В якості системи обмежень моделі оптимального розвитку сфери залізничного туризму виступають вимоги щодо рухомого складу, кількості туристів та рейсів туристичного поїзда, кількості визначених категорій маршрутів тощо.

Відповідно табл. 3 при формуванні моделі вважаються відомими (заданими) варіанти залізничних туристичних маршрутів. Необхідно змістовно визначити що саме вважається завданням для вибору, тобто, що являє собою реалізація оптимального плану. Розглянемо можливі варіанти рішень у залежності від зовнішніх умов і типу вихідної інформації.

Варіант В1) Результатом оптимального планування являється один маршрут, який є найбільш рентабельним за рік (після його введення у дію). Всі маршрути табл. 3 представлені таким чином, щоб порівняти їх річну рентабельність. При цьому не враховується, як такий план реалізується, скільки витрат, період ін. Обмеження по тяговому і рухомому складу можна

вважати єдиними на всі варіанти маршрутів. Тобто, В1 визначає оптимальне рішення – один маршрут. Наступні варіанти рішень ураховують додаткові вимоги або фактори моделей оптимального планування.

Варіант В2) Реалізація вибору одного варіанту туристичного маршруту з урахуванням ризиків (можливих додаткових витрат через невизначеність проекту). Рішення – один маршрут.

Варіант В3) Вибір не одного, а групи маршрутів, які разом задовольняють обмеженням по ресурсах. Рішення – група маршрутів.

Варіант В4) Вибір не одного, а групи маршрутів, які разом задовольняють обмеженням по ресурсах з урахуванням ризиків. Рішення – група маршрутів.

Варіант В5) Формування моделі кооперації операторів (маршрутів), яка забезпечує максимум рентабельності при комбінації маршрутів (кожний із маршрутів оптимальної групи має особисту розраховану частоту реалізації, але забезпечується максимальний загальний рівень показника рентабельності). Рішення – група маршрутів разом із частотами використання.

У статті розробляються економіко-математичні моделі планування розвитку сфери залізничного туризму, які визначають оптимальні рішення відповідно варіантів В1 – В5. При цьому для кожного В1 – В5 визначаються описи окремих маршрутів, кожний із яких представляється в моделі окремою бінарною змінною. Встановлюються допустимі значення змінних та допустимі області значень виробничих та економічних показників, розрахованих для конкретного набору змінних величин. У змістовному сенсі завдання оптимального планування полягає у визначенні таких значень змінних, які задовольняють обмеженням моделі і забезпечують максимальну оцінку показника рентабельності (або деякого іншого економічного показника ефективності туристичної діяльності).

Моделі і алгоритми оптимального планування туристичної діяльності

Розглянемо питання із формування структури та складових моделей планування відповідно В1-В5. В розділі буде визначена модель для варіанту планування В1, на основі якої далі формуються інші постановки В2-В5. За умов існування визначених варіантів туристичних маршрутів $M_i, i \in MI$ табл. 3 будь-які реалізації оптимальних планів полягають у розрахунку номерів або індексів деякої підмножини маршрутів MI . Позначимо бінарні змінні, що відповідають деякому маршруту, через $x_i \in \{0,1\}, (i = \overline{1, m})$; де m – загальне число туристичних маршрутів, а значення $x_i = 1$ означає рішення щодо включення маршруту до оптимального плану. Тобто, загальний вектор рішень завдань планування В1-В6 має наступний вигляд

$$\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m). \quad (1)$$

Для встановлення зв'язаності залізничної мережі та реалізації можливості обслуговування маршрутів (1) одним і тим же тяговим рухомим складом уведемо матрицю зв'язаності

$$CX = [c_{ij}]_{m \times m}. \quad (2)$$

В (2) $c_{ij} = 1$ якщо відповідні маршрути зв'язані, в протилежному випадку – дорівнюють 0. Зв'язані відповідно (2) маршрути M_i (безпосередньо або транзитивно, через деякі інші) можуть обслуговуватися одним рухомим складом.

На кожному M_i пропонується декілька варіантів реалізації туристичної діяльності Z_i , які відмінні тривалістю, класністю послуг ін., що позначаються

$$z_{ik} \in Z_i, i \in MI. \quad (3)$$

В загальному випадку для кожного M_i набори Z_i формуються окремо. Теж стосується розрахунків вартості варіантів туристичного обслуговування

s_{ik}

$$s_{ik} \in S_i, i \in MI. \quad (4)$$

Матриці Z_i , а також S_i , повністю визначають в моделі діяльність туристичних операторів на маршруті M_i . $i \in MI$.

Для формування загальної моделі туристичної діяльності уведемо цільову функцію і завдання оптимального планування відповідно

$$\{\Phi(\bar{X}) = R_1(\bar{X})\} \Rightarrow \max_{X \in G_X}, \quad (5)$$

де: G_X – область допустимих значень параметрів планів, визначена на основі \bar{X} (1). У критерії (5) $R_1(\bar{X})$ відповідає показнику оптимальності варіанту В1, а $\Phi(\bar{X})$ – будь якій іншій моделі оптимального планування.

Система обмежень G_X моделі (5) складається із наступних умов забезпечення туристичної діяльності: забезпечення тяговим рухомим складом – $G_T(\bar{X})$, вагонним парком – $G_V(\bar{X})$, вимога щодо зв'язаності залізничних туристичних маршрутів – $G_C(\bar{X})$, умови щодо обмеження тривалості – $G_t(\bar{X})$, вимоги до готовності інфраструктури – $G_I(\bar{X})$, інвестиційні обмеження – $G_P(\bar{X})$. В загальному випадку вимоги G_X будемо представляти у наступному вигляді

$$G_k(\bar{X}) \leq 0, \quad k \in \{T, V, C, t, I, P\}, \quad (6)$$

$$x_i \in \{0,1\}, (i = \overline{1, m}); \quad N_X = 2^m. \quad (7)$$

Економіко-математична модель оптимального планування розвитку сфери залізничного туризму, як вибору одного найбільш рентабельного маршруту із множини M_i . $i \in MI$, визначають відношення (1), (5) – (7). Рівняння (7) встановлює загальну кількість можливих варіантів планів, серед яких визначається оптимальний відповідно критерію (5). Модель (1), (5) – (7) відноситься до категорії дискретного математичного програмування, з урахуванням (7) вона може бути реалізована методом перебору. Аналітичний вигляд цільової функції та обмежень моделі наводяться у статті нижче.

Для формування алгоритму чисельної реалізації (1), (5) – (7) представимо структуру окремого маршруту у такому вигляді

$$St_i (M_i, R w_i, l_i, T_i, SP_i(t), Z_i, S_i, RTur_i), \quad (8)$$

де позначено:

M_i - ідентифікатор туристичного маршруту,

$R w_i$ - перелік залізничних вузлів приналежних до M_i ,

l_i - довжина, T_i - тривалість маршруту,

$SP_i(t)$ – оцінки необхідних витрат для уведення M_i до функціонування за період t ,

Z_i - варіанти реалізації відповідно (3),

S_i - розрахункові вартості варіантів туристичного обслуговування відповідно (4),

$RTur_i$ - очікуване число туристів на маршруті M_i , табл. 1.

Схема алгоритму реалізації моделі (1), (5) – (7) складається із наступного.

1. Встановити початкові значення змінних та оцінки цільової функції

$$\bar{X}(0) = (x_1 = 0, x_2 = 0, \dots, x_m = 0). R_{1*}(\bar{X}) = R_{1\min}. \bar{X}_{opt} = \bar{X}(0).$$

2. Встановити початкове значення лічильника варіантів $CN_x = 0$. Зазначимо що двійкове представлення номера CN_x дає варіант реалізації плану туристичної діяльності ($x_i \in \{0,1\}, (i = \overline{1, m})$).

3. Генерація чергового номеру варіанта $CN_x + 1$, у разі $CN_x + 1$ більше ніж $N_x = 2^m$, закінчити процедуру оптимізації. До п 9.

4. На основі CN_x сформувавати поточний вектор варіантів діяльності $\bar{X}(CN)$, в якому значення $x_i = 1$ свідчить про включення маршруту до поточного плану.

5. Для кожного $x_i = 1$ встановити лічильник кількості варіантів реалізації z_{ik} за матрицями Z_i , $z_{ik} \in Z_i$.
6. Розрахувати показники моделі (5) – (7).
7. Перевірити систему обмежень (6). У разі невиконання вимог – перейти до пункту 3.
8. Виконати порівняння попереднє значення цільової функції $R_{1*}(\bar{X})$ з поточним $R_1(\bar{X})$. При $R_{1*}(\bar{X}) < R_1(\bar{X})$ – замінити $R_{1*}(\bar{X})$ на $R_1(\bar{X})$, запам'ятати $\bar{X}_{opt} = \bar{X}$. Перейти до п. 3.
9. Видача результату оптимального планування $\{\bar{X}_{opt}; R_{1*}(\bar{X}_{opt})\}$.

Методика розрахунків параметрів економіко-математичної моделі

1. *Доходи від перевезення туристів вузькоколійною залізницею у вагонах 1-го та 2-го класу за різними маршрутами протягом року.* Величина доходів залежить від вартості путівки, яка, в свою чергу, залежить від типу вагона, терміну поїздки (від 1-го до 3-х діб), протяжності маршруту, власних витрат туристичного оператора та кількості наданих туристичних послуг (проживання у готелях 1-у або 2-і доби з урахуванням сніданку, денного харчування в місцевих кав'ярнях або ресторанах, кількості туристичних екскурсій та автомобільних трансферних перевезень протягом кожного дня).

2. *Доходи від перевезення туристів рейкомобілями за маршрутами, термін яких складає одну добу.* В цьому разі вартість путівки залежить від терміну поїздки, протяжності маршруту, власних витрат туристичного оператора, денного харчування туристів в місцевих ресторанах або кав'ярнях та вартості екскурсій протягом дня.

3. *Витрати на перевезення туристів у поїздах залежать від витрат на:*

- a. перевезення туристів у вагонах 1-го та 2-го класу (постійна та змінна складова тарифу) та протяжності маршруту;
- b. харчування під час руху поїзда у вагонах-ресторанах;
- c. власні витрати туристичного оператора;

- d. проживання у готелях (від 1-го до 3-х діб);
- e. харчування у місцевих ресторанах або кав'ярнях;
- f. екскурсійне обслуговування;
- g. трансферні перевезення туристів автобусами між туристичними об'єктами, ресторанами, готелями та вокзалами.

4. *Перевезення туристів рейкомобілями залежать від витрат на:* експлуатацію та утримання транспортних засобів; власні витрати туристичного оператора; харчування у місцевих ресторанах або кав'ярнях; екскурсійне обслуговування.

Кожна з вказаних величин визначається за окремими формулами (9, 10).

$$D = \sum_{j=1}^x KT_j^k \cdot V_j^k \quad (9)$$

де KT_j^k – річна кількість туристів, що будуть подорожувати j -тим маршрутом, в k -тому вагоні, чол.;

V_j^k – вартість путівки туриста, що буде подорожувати j -тим маршрутом, в k -тому вагоні, грн.

В загальному виді вартість путівки V_j^k можна розрахувати за формулою (10) по кожному окремому маршруту, а потім помножити на кількість рейсів за рік:

$$V_j^k = [(l_j \cdot t_j^k) + T_{const}^j + (C_j^{харч} + BB_j) \cdot K_{дiб}^j + (\sum_{c=1}^x C_f^{зом} + C_v^{харч} \cdot C_c^{екск} + C_c^{трансф})] \cdot 1,2 \quad (10)$$

l_j – протяжність j -го маршруту в км;

t_j^k – змінна частина тарифу за перевезення туристів у вагонах K класу за вказаним маршрутом на один км, грн;

T_{const}^j – постійна частина тарифу за перевезення туристів у вагонах K класу за вказаним маршрутом, грн;

$C_j^{харч}$ – вартість харчування в поїзді на одну добу подорожі, грн.;

BB_j – доля власних витрат туристичного оператора, що приходиться на конкретний маршрут на одну добу, грн;

$K_{дiб}^j$ – кількість діб харчування у поїзді за один рейс, од;

C_f^{zom} – вартість проживання в зірковому готелі зі сніданком за одну добу грн., де f - кількість готелів на маршруті;

$C_в^{харч}$ – вартість денного харчування у місцевих ресторанах або кав'ярнях (якщо це передбачено путівкою), грн., де $в$ - кількість харчувань на маршруті;

$C_c^{екск}$ – вартість екскурсій на усіх станціях C , що включені у путівку, грн;

$C_c^{трансф}$ – вартість автомобільних трансферних перевезень на усіх станціях C маршруту, грн.;

C – номер станції маршруту за табл. 1;

X – кількість варіантів маршрутів – визначається рішенням задачі.

Якщо дохід туристичного оператора від залізничного туризму протягом року визначено за формулою (9), то витрати, прибуток та рентабельність його діяльності слід визначати за формулами (11, 12, 13)

$$B = \sum_{K_{дiб}=1}^{365} \sum_{j=1}^x [(l_j \cdot t_j^k) + T_{const}^j + (C_j^{харч} + BB_j) \cdot K_{дiб}^j + (\sum_{c=1}^x C_f^{zom} + C_в^{харч} \cdot C_c^{екск} + C_c^{трансф})] \cdot R \cdot КП_{(11)}$$

де R – кількість рейсів туристичного поїзда на даному маршруті протягом року, рейс;

$КП$ – кількість поїздів, яка курсує на даному маршруті протягом року

$C_f^{zom} = \sum_{c=1}^x c_c^j \cdot K_j^{дiб}$, де $\sum_{c=1}^x c_c^j$ – вартість проживання у готелі зі сніданком на j -му маршруті за одну добу, грн.

$$C_v^{харч} = \sum_{c=1}^x c_c^{харч} \cdot K_j^{діб}, \text{ де } \sum_c c_c^{харч} - \text{вартість харчування в місцевому ресторані}$$

або кав'ярні на j -му маршруті за одну добу, грн.

$$C_c^{екск} = \sum_{c=1}^x c_c^{екск} \cdot K_j^{зуп}, \text{ де } \sum_c c_c^{екск} - \text{вартість екскурсійного обслуговування на}$$

усіх станціях j -го маршруту за один рейс, грн.; $K_j^{зуп}$ – кількість зупинок на маршруті для проведення екскурсійного обслуговування на j -му маршруті, грн.

$$C_c^{трансф} = \sum_{c=1}^x c_c^{трансф} \cdot K_j^{зуп}, \text{ де } \sum_c c_c^{трансф} - \text{вартість трансферного}$$

обслуговування автобусами на усіх станціях j -го маршруту за один рейс, грн.

$$П = Д - В, \tag{12}$$

$$P = \frac{П \cdot 100\%}{В}, \tag{13}$$

Моделі оптимального планування при змінах умов і вимог до варіантів рішень. Двоетапна економіко-математична модель вибору туристичних маршрутів з урахуванням умов ризику

Моделі планування в умовах ризиків формують у разі, коли можливі збурення станів системи або параметрів планування, для яких відомі ймовірності (або суб'єктивні ймовірності) виникнення, варіанти В2, В4 [5]. Розглядаємо планування як вибір (1) з урахуванням стохастичних факторів $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$ – тут множини випадкових станів системи реалізації туристичної діяльності, що характеризує деякий сценарій можливої реалізації відмови (наприклад, відсутність своєчасного інвестиційного забезпечення, збурення і процесах колійного розвитку, придбання рухомого складу та ін.). Для кожного із такого роду можливих збурень необхідно визначити сценарії відмов V_k , який будемо описувати окремим шаблоном, а саме $Sh_k(V_k, H_k, p_k)$. При виконанні оптимального планування оцінюють значення

характерних параметрів умов невизначеності θ , також визначають оцінки додаткових витрат на компенсацію збурень H_k та їх ймовірності P_k , значення яких $\{p(\theta_i)\}_s$ вважають відомими (встановлюються експертним шляхом). Планування процесів туристичної діяльності при урахуванні ймовірностей умов можливих збурень, які можуть реалізуватися, представляє планування в умовах ризику [5, 7]. Зокрема, будемо визначати стани θ «збоїв» як діапазони $[d_i^1, d_i^2]$ значень можливих відхилень планових показників

$$\theta_i = \langle [d_i^1, d_i^2], h_i(\theta_i), p(\theta_i) \rangle; \quad \sum_i p(\theta_i) = 1, \quad (14)$$

де $h_i(\theta_i)$ – питомі оцінки додаткових витрат на корегування плану в умовах θ_i . Визначення $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$ (14), опис набору випадкових параметрів моделі, а також виду функцій додаткових витрат, формалізує варіанти постановок двоетапних завдань із планування процесів формування туристичної діяльності залізничного транспорту. Модель двоетапної задачі планування (1), (5)-(7) узагальнено представимо у вигляді

$$\{\Phi(\bar{X}) = R_1(\bar{X}) + M[f_h(\bar{X}, Y(\bar{X}, \theta), \theta)]\} \Rightarrow \max_{X \in G_X}. \quad (15)$$

В (15) позначено: детермінована функція $R_1(\bar{X})$ – вартісна оцінка вектора планування (1), (5) при виконанні детермінованих умов планування, $f_h(\cdot)$ – функція додаткових витрат на коректування та реалізацію плану в умовах θ , $Y(X^{(t)}, \theta)$, $M[\cdot]$ – знак математичного сподівання, G_X – область допустимих значень параметрів планів \bar{X} (6). При реалізації (15) методами стохастичного програмування [9] для деякого $X' \in G_X$ і для кожного $\theta_i \in \theta$ розраховують та узагальнюють по $p(\theta_i)$ значення $f_h(X', Y', \theta_i)$, які разом із $R_1(\bar{X})$ дають оцінку $X': \Phi(X')$, яка вимірює якість $X' \in G_X$ у рамках двоетапного планування (15). Відповідно (15) оптимальний розв'язок \bar{X}_{opt}^* забезпечує максимум показника рентабельності (у разі потреби можливо визначати мінімум суми витрат на обслуговування туристичної діяльності) за

умов очікуваних додаткових витрат при виникненні збурень (14) у процесах реалізації залізничного туризму. Інші складові моделі та алгоритм реалізації постановки В2 відповідає (1), (5) – (7).

Запропонована модель (14) – (15) планування процесів туристичного сервісу передбачає використання попередніх даних у вигляді (15), формально – статистичної природи [5, 7]. У разі відсутності достовірних статистичних даних замість ймовірнісних моделей щодо варіантів відмови процесів залізничних перевезень тощо, можливо застосовувати нечіткі аналоги [9], що базуються на формуванні нечіткого опису інформації про можливості відмов.

Моделі вибору групи оптимальних туристичних маршрутів

Вибір групи оптимальних туристичних маршрутів при детермінованих параметрах або в умовах ризиків (варіанти постановок В3, В4) може бути реалізованим, якщо система обмежень (6) – (7) виконується одночасно для всіх вибраних маршрутів одночасно. Змістовно таке рішення є можливим при забезпеченні зв'язаності маршрутів, достатності рухомого складу, готовності інфраструктури ін. (2), (6). Також необхідно виконання принципу незалежності економічних показників оптимальних маршрутів – кожен із включених до плану маршрут прагне максимізувати показник своєї рентабельності. Зазначимо, що наведений вище алгоритм реалізації моделі В1, також придатний для чисельної реалізації постановок В2 – В4. Це забезпечується за рахунок того, що пункти п3 – п4 алгоритму генерують всі можливі комбінації формування груп маршрутів. Таким чином постановки із аналізом груп маршрутів утворюються шляхом простого об'єднання всіх варіантів діяльності (3), (4), а також обмежень на ресурси (6).

Основними формами критеріїв у детермінованому випадку В3 являється

$$\{\Phi(\bar{X}) = \sum_k R_k(\bar{X})\} \Rightarrow \max_{X \in G_X}, \quad (16)$$

а за умов ризику В4

$$\{\Phi(\bar{X}) = \sum_k (R_k(\bar{X}) + M[f_{kh}(\bar{X}, Y(\bar{X}, \theta), \theta)])\} \Rightarrow \max_{X \in G_X}, \quad (17)$$

в яких індексом «k» позначаються номери маршрутів, які разом включаються до групи оптимальних. Усі інші позначення моделей планування (16), (17) зберігають раніше встановлені значення.

Моделі кооперації маршрутів для забезпечення максимуму загальної рентабельності при їх комбінації відрізняються визначенням частоти реалізації поїздок по кожному із маршрутів, що увійшли у оптимальну групу. В них, на відміну від постановок (16), (17), розраховуються частоти реалізації поїздок, для яких забезпечується максимальний загальний рівень показника рентабельності.

Реалізація зазначених вимог до оптимальних планів розвитку сектору залізничного туризму може бути представлена критеріями ефективності наступних задач оптимального планування

$$\{\Phi(\bar{X}) = \sum_k v(\theta_k) R_k(\bar{X})\} \Rightarrow \max_{X \in G_x}, \quad \sum_i v(\theta_i) = 1 \quad (18)$$

$$\{\Phi(\bar{X}) = \sum_k v_k (R_k(\bar{X}) + M[f_{kh}(\bar{X}, Y(\bar{X}, \theta), \theta)])\} \Rightarrow \max_{X \in G_x}. \quad (19)$$

У критеріях (18), (19) умова нормування $\sum_i v(\theta_i) = 1$ застосовується для варіантів маршрутів із (1), які увійшли до оптимального плану \bar{X}_{opt} . Розрахунок значень частот застосування окремих маршрутів у оптимальному плані \bar{X}_{opt} визначається вирішення завдань лінійного програмування відповідно частот виконання окремих маршрутів.

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Незважаючи на велику кількість наукових праць в теорії та практиці розвитку туристичних перевезень, стратегія розвитку залізничного туризму є недостатньо висвітленою і вимагає подальшого вдосконалення. Дана стаття присвячена питанням розробки оптимізаційної економіко-математичної моделі, призначеної для формування засад щодо розвитку сфери залізничного туризму в Україні.

2. Вперше для сфери залізничного туризму в Україні побудовано економіко-математичні моделі дискретного оптимального планування, призначені для визначення наборів ефективних маршрутів, які являються найбільш рентабельними при встановленій системі вимог на діяльність туристичних операторів.
3. Отримано нові економіко-математичні моделі планування процесів діяльності туристичних операторів з урахуванням умов ризиків, представлені у вигляді дискретних двох етапних моделей оптимізації, що забезпечують вибір групи найбільш рентабельних маршрутів залізничного туризму в Україні.
4. Отримані результати забезпечують можливості підвищення ефективності роботи туристичних залізничних операторських компаній на етапі визначення та вибору сфери діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бараш Ю. С. Методи організації туристичних перевезень / Ю. С. Бараш, Л. В. Марценюк // Вісн. економіки транспорту і промисловості : зб. наук. ст. – Харків : УкрДАЗТ, 2016. – Вип. 1. – С. 14–23.
2. Бараш Ю. С. Comparison of tourist traffic by railway and automobile transport and methodical approach to determining the costs of such transportations / Ю. С. Бараш, О. М. Гненний, Л. В. Марценюк, Т. Ю. Чаркіна // Технологический аудит и резервы производства. – 2017. – № 1/4(33). – С. 29–35.
3. Гненний О. М. Методичні підходи до оцінки економічної ефективності інвестицій у розвиток туристичних перевезень залізничним транспортом / О. М. Гненний // Зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Проблеми економіки транспорту». – 2015. – Вип. 10. – С. 7–14.

4. Дергоусова А. О. Формування стратегії розвитку залізничного туризму : дис. ...канд. екон. наук: спец. 08.00.04. – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності) / А. О. Дергоусова. – Харків : УкрДАЗТ, 2012. – 216 с.
5. Ермольев Ю.М. Математические методы исследования операций / Ю.М. Ермольев, И.И. Ляшко, В.С. Михалевич, В.И. Тюптя // Киев: Вища школа, 1979. – 312 с.
6. Марценюк Л. В. Теоретичні та практичні аспекти управління ефективністю залізничного туризму : монографія / Л. В. Марценюк; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2016. – 242 с.
7. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування: Підручник/ [Геєць В.М., Клебанова Т.С., Черняк О.І., Іванов В.В., Дубровіна Н.А., Ставицький А.В.] — Х.: ВД «ІНЖЕК», 2005. — 396 с.
8. Перспективи розвитку залізничного туризму України на вузькоколієних лініях Закарпаття / В. Г. Кузнецов, П. О. Пшінько, І. В. Кліменко та ін. // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2015. – № 4(58). – С. 23–33.
9. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети [Текст]/ Г.Э. Яхьяева. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; Лаборатория знаний, БИНИМ, 2008. – 316 с.
10. Jensen M. T. A multisensory phenomenology of interrail mobilities / M. T. Jensen, C. Scarles and S. Cohen // Annals of Tourism Research. – 2015. – 53. – P. 61–76.
11. Juan Carlos García-Palomares Identification of tourist hot spots based on social networks: A comparative analysis of European metropolises using photo-sharing services and GIS Applied Geography / Juan Carlos García-Palomares, Javier Gutierrez, Carmen Mínguez. – 2015. – Vol. 63. – P. 408–417.

12. Khanal B. R. Tourism inter-industry linkages in the Lao PDR economy: An input-output analysis / B. R. Khanal, C. Gan, S. Becken // *Tourism Economics*. – 2014. – 20 (1). – P. 171–194.
13. Lee Anne H.J., Wall Geoffrey, Kovacs Jason F.. Creative food clusters and rural development through place branding: Culinary tourism initiatives in Stratford and Muskoka, Ontario, Canada // *Journal of rural studies*. – 39 (2015). – P. 133–144.
14. Ming Ming Su. The Qinghai –Tibet railway and Tibetan tourism: Travelers' perspectives / Ming Ming Su, Geoffrey Wall // *Tourism Management*. – 30 (2009). – P. 650–657.
15. Nilnoppakun A.a, Ampavat, K.a. Integrating Cultural and Nostalgia Tourism to Initiate A Quality Tourism Experiences at Chiangkan, Leuy Province, Thailand. – 2nd global conference on business, economics, management and tourism, 30-31 October 2014, Prague, Czech Republic. – *Procedia Economics and Finance* 23 (2015) 763–771. Available online at www.sciencedirect.com (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). doi: 10.1016/S2212-5671(15)00545-6
16. The impacts of Australia's departure tax: Tourism versus the economy? / Forsyth P., Dwyer L., Spurr R., Pham T. // *Tourism Management*. – 2014. – 40. – P. 126–136.
17. Tyagi Akansha, Dhar Rajib Lochan, Sharma Jyoti. Police culture, tourists and destinations: A study of Uttarakhand, India. *Tourism Management*. – 52 (2016). – P. 563–573.

А. Н. ПШИНЬКО¹, Ю. С. БАРАШ², В. В. СКАЛОЗУБ³, Л. В. МАРЦЕНЮК⁴

¹Д.т.н., проф., ректор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, Днипро, Украина, 49010

²Каф. «Учет, аудит и интеллектуальная собственность», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (067) 631 93 02, эл. почта ubarash46@gmail.com

³Д.т.н., проф., декан факультета «Техническая кибернетика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, эл. почта: skalozub.vl.v@gmail.com

^{4*}Каф. «Экономика и менеджмент», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (093) 934 18 03, эл. почта rwinform1@ Rambler.ru

Экономико-математическая модель формирования сферы железнодорожного туризма в Украине

Цель. Статья посвящена вопросам разработки оптимизационной экономико-математической модели, предназначенной для формирования основ по развитию сферы железнодорожного туризма в Украине. Отмечается, что задача оптимального планирования указанного развития, с учетом возможных рисков по его реализации, выполняется впервые. Содержательно создаваемая модель дает возможность определить оптимальный по критерию максимальной рентабельности туристический маршрут (группу маршрутов) на заданном полигоне узкоколейной железной дороги. В качестве системы ограничений модели оптимального развития сферы железнодорожного туризма выступают требования по подвижному составу, количеству туристов и рейсов, количество определенных категорий маршрутов и тому подобное. Методика. Для эффективного формирования и развертывания сферы услуг железнодорожного туризма в Украине предложена экономико-математическая модель по оптимальному выбору множества туристических маршрутов из установленного набора, которые обеспечивают максимальную рентабельность операторов при выполнении множества условий осуществления туристической деятельности. Предлагаемая методика базируется на принципе независимости функционирования отдельных туристических маршрутов, аддитивности функций оценки показателей деятельности операторов. Учет возможных рисков на этапе формирования множества наиболее рентабельных туристических маршрутов обеспечивается путем применения двухэтапных моделей выбора и планирования. Результаты. Впервые для сферы железнодорожного туризма в Украине построена экономико-математическая модель дискретного оптимального планирования, предназначенная для определения наборов эффективных маршрутов, которые являются наиболее рентабельными при установленной системе требований, которые ограничивают деятельность туристических операторов. Научная новизна. Получена новая экономико-математическая модель планирования процессов деятельности туристических операторов с учетом условий рисков, представленная в виде дискретной двухэтапной модели оптимизации, которая обеспечивает выбор набора наиболее рентабельных маршрутов железнодорожного туризма в Украине. Практическая значимость. Результаты исследований обеспечивают возможности повышения эффективности работы туристических железнодорожных операторских компаний на этапе определения и выбора сферы деятельности.

Ключевые слова: железнодорожный туризм в Украине, формирование сферы услуг, экономико-математическая модель, дискретное оптимальное планирование с учетом рисков, критерии рентабельности и чистого приведенного дохода, туристический оператор

O. M. PSHINKO^{*1}, U.S. BARASH^{*2}, V. V. SKALOZUB^{*3}, L.V. MARTSENIUK^{*4}

¹Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, lazaryan st. 2, Dnipro, Ukraine, 49010

²Dep. «Accounting, auditing and intellectual property», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, lazaryan st. 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (067) 631 93 02, e-mail ubarash46@gmail.com

³Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, lazaryan st. 2, Dnipro, Ukraine, 49010, e-mail skalozub.vl.v@gmail.com

Economic-mathematical model of formation of the sphere of railway tourism in Ukraine

The purpose. The article is devoted to the development of an optimization economic and mathematical model, which is designed to form the basis for the development of the railway tourism in Ukraine. It is noted that the task of optimal planning for this development, taking into account the possible risks for its implementation, is performed for the first time. This model allows you to determine the optimal tourist route (group of routes) at the specified polygon of a narrow-gauge railway by the criterion of maximum profitability. As a system of model limitations, there are requirements for rolling stock, the number of tourists and flights, the number of certain categories of routes and so on. **Methods.** For effective formation and deployment of the sphere of railway tourism services in Ukraine, an economic-mathematical model is proposed for the optimal choice of a set of tourist routes, which ensure maximum profitability of operators under a variety of conditions. The proposed methodology is based on the principle of independence of the functioning of individual tourist routes. Accounting for possible risks is ensured through the use of two-stage models of selection and planning. **The Results.** For the first time in the sphere of railway tourism in Ukraine, an economic-mathematical model of discrete optimal planning has been constructed, which is designed to determine the effective routes that are most cost-effective. **The practical significance.** A new economic-mathematical model for planning the processes of tourism operators' activities taking into account the risk conditions is presented. It is presented in the form of a discrete two-stage optimization model that provides a selection of the most cost-effective routes for railway tourism in Ukraine. The results of the research provide opportunities to increase the efficiency of the work of tourist railway operator companies at the stage of identifying and selecting the field of activity.

Keywords: railway tourism in Ukraine, formation of services, economic-mathematical model, discrete optimal planning taking into account risks, criteria of profitability and net present value, tourist operator

Стаття рекомендована до друку д-ром екон. наук, доц. Гненним О.М., д-ром екон. наук, доц. Каховською О.В.